

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

К.И. НИКАШИН, Р.Х. СУНГАТУЛЛИН, Р.И. КАДЫРОВ

ГЕОЛОГИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

**Учебно-методическое пособие
к практическим занятиям**

Казань – 2025

УДК 553.3/.4:553.6

ББК 26.34

Н62

*Рекомендовано к изданию
учебно-методической комиссией ИГиНГТ
(протокол № 1 от 11 сентября 2025 г.)*

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук, доцент **С.О. Зорина**

кандидат геолого-минералогических наук **П.Д. Котлер**

Никашин К.И.

Н62 Геология полезных ископаемых: учебно-методическое пособие к практическим занятиям / К.И. Никашин, Р.Х. Сунгатуллин, Р.И. Кадыров. – Казань: Казанский ун-т, 2025. – 51 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для бакалавров Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета, обучающихся по направлению подготовки «Геология». Пособие содержит сведения, необходимые для описания образцов рудных и нерудных полезных ископаемых, изучаемых на практических занятиях. Отдельно рассмотрены генетические типы месторождений полезных ископаемых.

УДК 553.3/.4:553.6

ББК 26.34

**© Никашин К.И., Сунгатуллин Р.Х.,
Кадыров Р.И., 2025**

© Казанский университет, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ	4
2. СТРУКТУРЫ, ТЕКСТУРЫ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД ...	5
3. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	14
4. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЭНДОГЕННОЙ СЕРИИ	17
4.1. Магматическая группа	17
4.2. Пегматитовая группа.....	22
4.3. Альбитит-грейзеновая группа.....	24
4.4. Скарновая группа	27
4.5. Гидротермальная группа	29
5. МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТАМОРФОГЕННОЙ СЕРИИ.....	35
5.1. Метаморфические месторождения.....	35
5.2. Метаморфизованные месторождения	36
6. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЭКЗОГЕННОЙ СЕРИИ	38
6.1. Группа выветривания.....	38
6.2. Осадочная группа	40
ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ	44
ЛИТЕРАТУРА.....	46
Приложение 1. План макроскопического описания образца полезного ископаемого на практическом занятии	47
Приложение 2. Области применения металлических полезных ископаемых	48
Приложение 3. Предлагаемые темы рефератов по курсу.....	50

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Полезные ископаемые – это природные минеральные образования неорганического и органического происхождения, которые могут быть использованы в сфере материального производства (Геологический словарь, 2011). По промышленному использованию все полезные ископаемые принято делить на *рудные (металлические)*, *нерудные (неметаллические)*, *горючие* и *гидроминеральные* (рис. 1.1). В настоящем пособии основное внимание уделено рудным и нерудным полезным ископаемым.

Руда – это минеральный агрегат, в котором содержание ценного компонента (как правило, металла) находится на уровне, достаточным для его промышленного извлечения. Рудные полезные ископаемые включают в себя черные, цветные, редкие, благородные и радиоактивные металлы.

Нерудные полезные ископаемые представляют собой минералы, используемые в их естественном виде или после извлечения из них неметаллических элементов и их соединений. К нерудным полезным ископаемым относится химическое, металлургическое, техническое, строительное, оптическое, камнесамоцветное сырье.

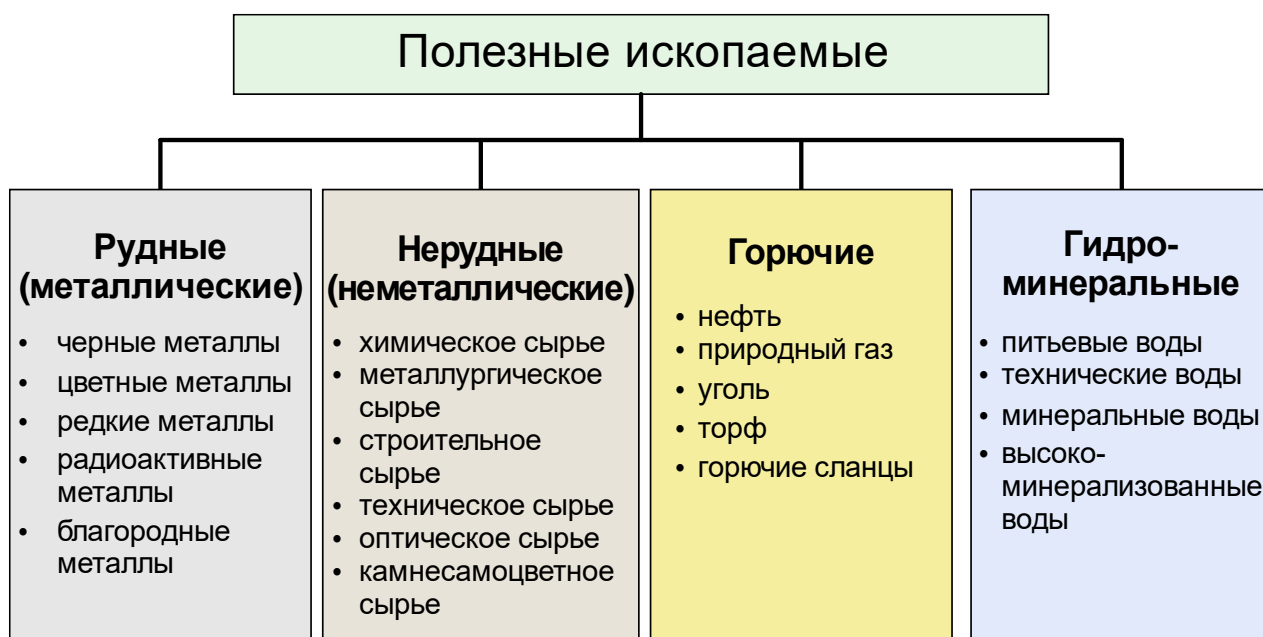


Рис. 1.1. Классификация полезных ископаемых по промышленному использованию

2. СТРУКТУРЫ, ТЕКСТУРЫ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ РУД

Структурно-текстурные особенности руд являются их важнейшими характеристиками, указывающими на условия образования и определяющими способы обогащения и переработки. Основным методом исследования структур и текстур руд служит микроскопическое изучение полированных препаратов – *анилифов*.

Под *структурой* руды понимают форму, размер и пространственное расположение отдельных зерен рудных минералов внутри минеральных агрегатов, а также их внутреннее строение. Многие руды имеют мелко- и тонкокристаллическое строение, в связи с чем детали их структуры различимы только под микроскопом.

Под *текстурой* руды понимают форму, размер и пространственное расположение агрегатов рудных минералов в образце. Текстуры могут быть проявлены в разных масштабах, в соответствии с чем различают макро- и микротекстуры. Первые различимы невооруженным глазом, тогда как вторые наблюдаемы только с помощью микроскопа.

В одном образце руды могут проявляться одновременно несколько структур и текстур, что необходимо учитывать при описании.

Основные типы структур и текстур руд приведены в табл. 1 и 2 и на рис. 2.1. и 2.2, а также кратко охарактеризованы ниже.

Структуры. *Равномернозернистые структуры* представлены агрегатом из равновеликих зерен одного или нескольких минералов. Разновидности: *панидиоморфно-* (рис. 2.1а), *гипидиоморфно-* (рис. 2.1б) и *аллотриоморфнозернистая* (рис. 2.1в), *сидеронитовая* (рис. 2.1г), а также перекристаллизованные структуры (например, *гранобластовая*). В основном, данные структуры встречаются в рудах магматического и метаморфического генезиса (табл. 1).

Неравномернозернистые структуры состоят из зерен разного размера. Разновидности: *эмульсионная* (рис. 2.1е), *порфировидная* (рис. 2.1ж), *пойкилитовая* и другие; также характерны для руд магматического и метаморфического генезиса.

Таблица 1

Основные типы структур руд, по (Смирнов, 1982)

Структуры	Генетические типы месторождений					
	метаморфические	магматические	пегматитовые	гидротермальные	выветривания	осадочные
Равномернозернистые:						
Панидиоморфнозернистая		+	+	+		
Гипидиоморфнозернистая		+	+	+		
Аллотриоморфнозернистая		+	+	+		
Сидеронитовая		+				
Гранобластовая	+					
Неравномернозернистые:						
Интерстициальная		+		+		
Порфировидная		+		+		
Пойкилитовая		+	+	+		
Эмульсионная		+		+		
Порфиробластовая	+					
Пластинчатая	+	+	+	+	+	+
Волокнистая	+	+		+	+	
Зональная			+	+	+	+
Кристаллографически-ориентированная		+	+	+	+	
Тесного срастания	+	+	+	+	+	
Замещения		+		+	+	
Дробления	+			+		

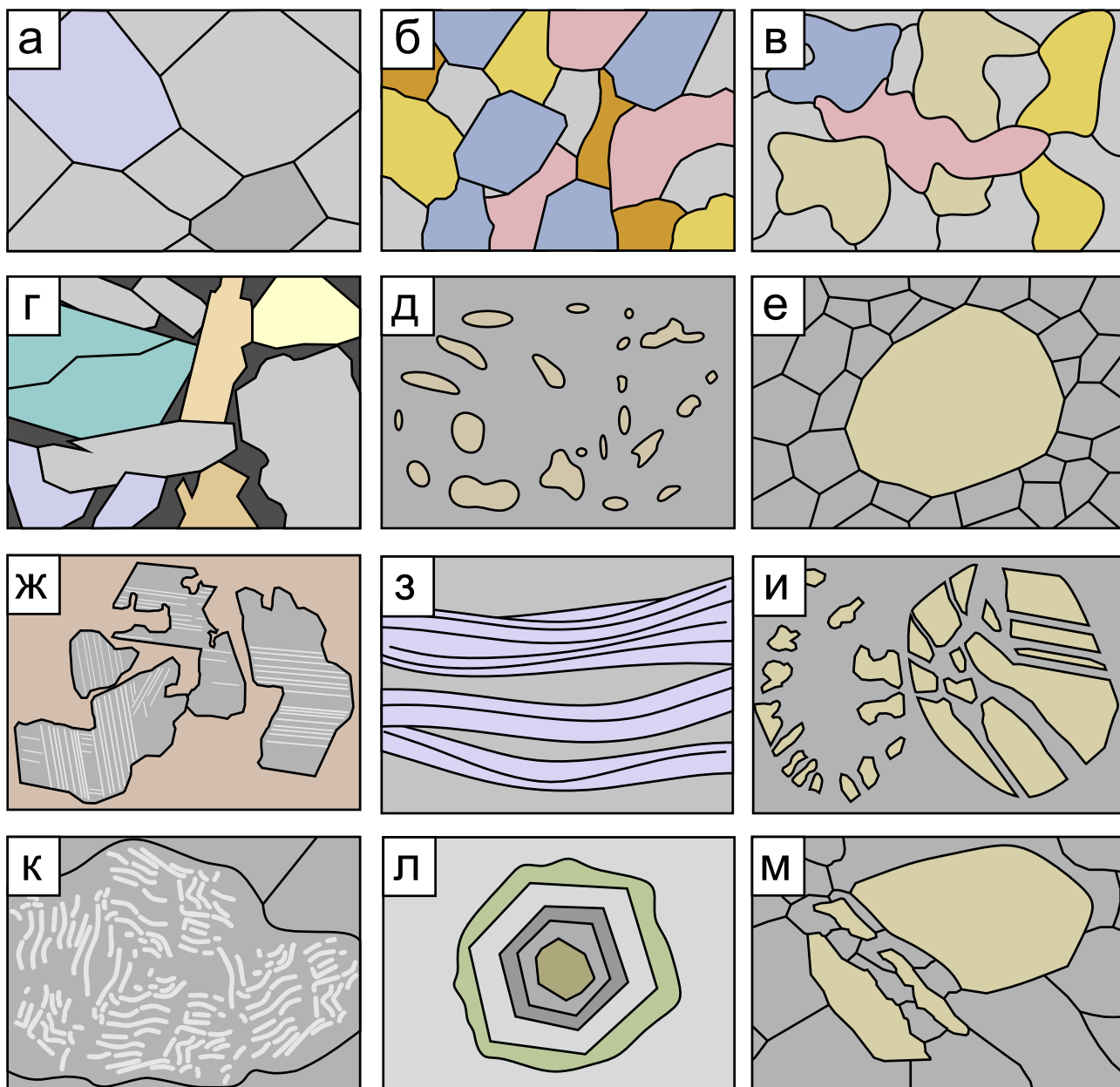


Рис. 2.1. Структуры руд: а – панидиоморфнозернистая, б – гипидиоморфнозернистая, в – аллотриоморфнозернистая, г – сидеронитовая, д – эмульсионная, е – порфировидная, ж – кристаллографически-ориентированная, з – волокнистая, и – замещения, к – тесного срастания, л – зональная, м – дробления

Кристаллографически-ориентированная структура обусловлена размещением выделений одного минерала по кристаллографическим направлениям другого минерала (рис. 2.1ж) и образуется в результате распада твердых растворов.

Волокнистая структура характеризуется нитевидным, волокнистым строением агрегата рудных минералов (рис. 2.1з).

Пластинчатая структура характеризуется пластинчатой формой всех или преобладающей части зерен рудной массы.

Структура *замещения* возникает при метасоматическом замещении ранних минералов более поздними (рис. 2.1и).

Структура *тесного срастания* характеризуется взаимным проникновением одних минералов в другие с образованием сильно извилистых и клиновидных границ между ними (рис. 2.1к).

Зональная структура характеризуется чередованием выделений минералов разного состава (рис. 2.1л).

Структура *дробления* (катаклаза) образована выделением более поздних минералов по механическим нарушениям ранее образованных минералов (рис. 2.1м).

Текстуры. *Массивная* текстура характеризуется равномерным, сплошным сложением агрегатов рудных минералов.

Пятнистая текстура представлена неправильными скоплениями рудных минералов среди основной нерудной массы. Разновидности: *такситовая* (крупные выделения) и *вкрапленная* (мелкие выделения, рис. 2.2а).

Полосчатая текстура обусловлена чередованием полос различного минерального состава (рис. 2.2б). В рудах осадочных месторождений ее аналогом является слоистая текстура, в метаморфогенных – сланцеватая и пloidчатая (рис. 2.2в), в магматогенных – крустификационная (последовательное заполнение жил минералами разного состава, рис. 2.2г).

Прожилковая текстура образована системой сетчатых, пересекающихся или субпараллельных прожилков (рис. 2.2д).

Брекчиевая текстура образована угловатыми фрагментами горных пород, сцементированными минеральными агрегатами более позднего образования (рис. 2.2е).

Сфероидальная текстура представлена выделениями минеральных агрегатов сфероидальной формы. Разновидности: *нодулярная*, *кокардовая* (рис. 2.2ж), *друзовая* (рис. 2.2з), *секреционная* (рис. 2.2и), *конкреционная* (рис. 2.2к), *конгломератовая*.

Таблица 2

Основные типы текстур руд, по (Смирнов, 1982)

Текстуры	Генетические типы месторождений					
	метаморфические	магматические	пегматитовые	гидротермальные	выветривания	осадочные
Массивная	+	+		+	+	+
Пятнистая	+	+	+	+	+	
Вкрапленная	+	+	+	+		
Прожилковая		+		+		
Полосчатые:						
Полосчатая	+	+	+	+	+	
Слоистая	+	+				+
Линзовидная	+	+	+	+	+	+
Плойчатая	+					+
Сланцеватая	+					
Крустификационная				+		
Сфероидальные:						
Нодулярная		+				
Кокардовая				+		
Друзовая	+		+	+	+	
Лучистая	+		+	+	+	
Конкреционная					+	+
Секреционная				+	+	+
Оолитовая						+
Конгломератовая						+

Текстуры	Генетические типы месторождений					
	метаморфические	магматические	пегматитовые	гидротермальные	выветривания	осадочные
Колломорфная				+	+	+
Дробления	+	+		+	+	
Пустотная					+	
Каркасная					+	
Рыхлые:						
Обломочная						+
Порошковая					+	+

Колломорфная (почковидная) текстура – сгустковидные, пузырчатые, гроздьевидные выделения минеральных агрегатов, часто концентрического строения (рис. 2.2л). Возникает из коллоидных растворов.

Пустотная текстура – текстура, обусловленная наличием в породах или рудах пор, каверн и полостей.

Каркасная текстура своим видом напоминает незаполненные медом соты. В качестве перегородок сот обычно выступают устойчивые минералы, например, кварц (рис. 2.2м).

Рыхлая (землистая) текстура наблюдается в слабо сцементированных массах обычно неявно кристаллического строения. Типична для руд осадочных месторождений и коры выветривания.

Вещественный состав руд включает их минеральный и химический состав. В минеральном составе различают *рудные минералы*, из которых извлекаются полезные компоненты, и *жильные минералы*, не имеющие экономической ценности (кварц, кальцит и др.).

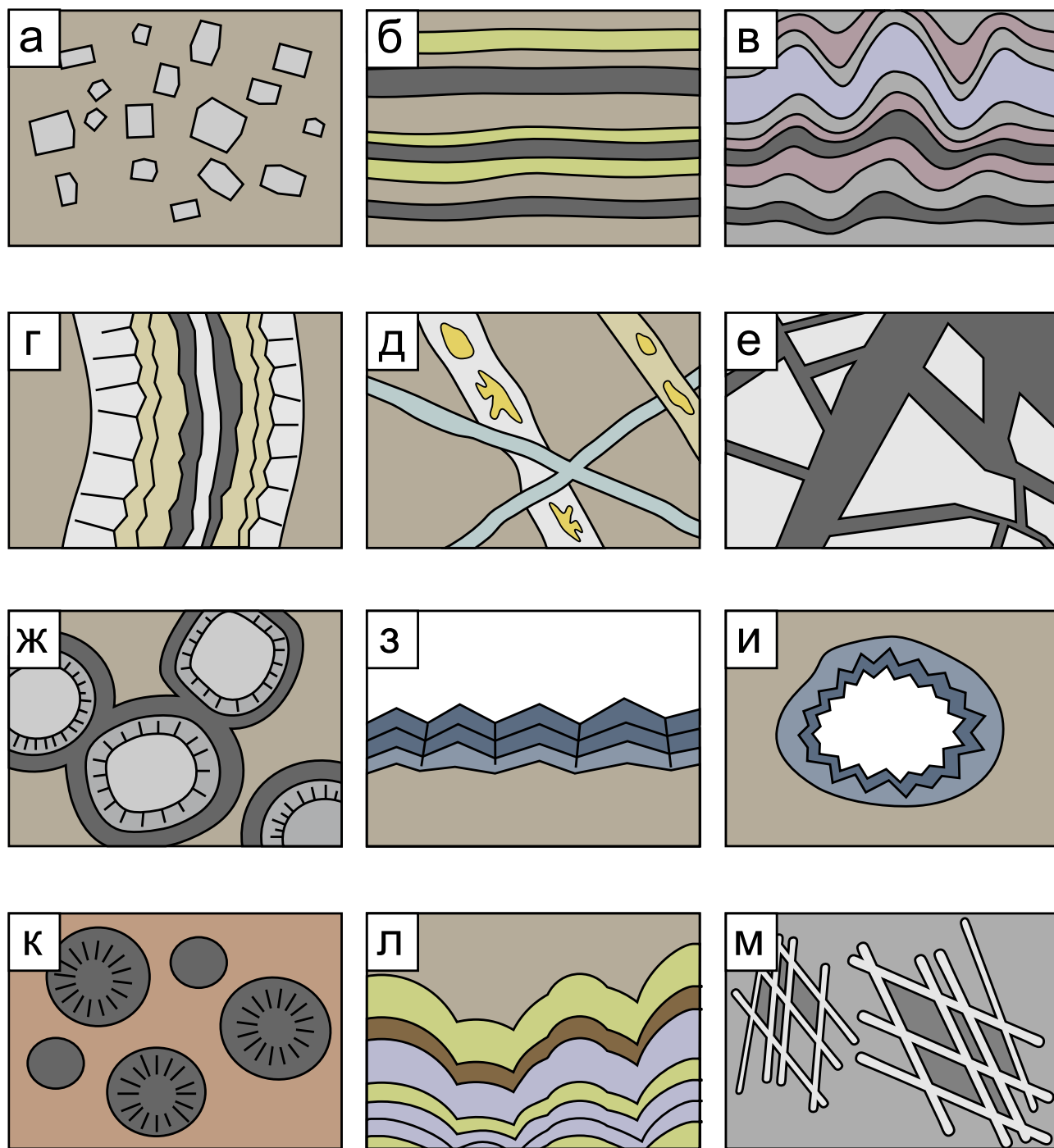


Рис. 2.2. Текстуры руд: а – вкрапленная, б – полосчатая, в – плейчатая, г – крустификационная, д – прожилковая, е – брекчиевая, ж – кокардовая, з – друзовая, и – секреционная, к – конкреционная, л – колломорфная, м – каркасная

В зависимости от количества минеральных видов руды могут быть моно- и полиминеральными. Общим для значительной части рудных минералов признаком является их непрозрачность и высокий удельный вес. Главные рудные минералы приведены в табл. 3.

Главные рудные минералы

Извлекаемый металл	Минерал	Формула минерала
Золото	Самородное золото	Au
	Электрум	(Au,Ag)
Серебро	Самородное серебро	Ag
	Аргентит	Ag ₂ S
	Прустит	Ag ₃ AsS ₃
Железо	Магнетит	FeFe ₂ O ₄
	Гематит	Fe ₂ O ₃
	Гидрогетит	Fe ₂ O ₃ · nH ₂ O
	Сидерит	Fe(CO ₃)
Титан	Ильменит	FeTiO ₃
	Рутил	TiO ₂
	Титанит (сфен)	CaTi[SiO ₄]O
Медь	Халькопирит	CuFeS ₂
	Ковеллин	CuS
	Халькозин	Cu ₂ S
	Борнит	Cu ₅ FeS ₄
	Куприт	Cu ₂ O
	Малахит	Cu ₂ [CO ₃][OH] ₂
	Азурит	Cu ₂ [CO ₃] ₂ [OH] ₂
Свинец	Галенит	PbS
	Церуссит	Pb[CO ₃]
	Англезит	Pb[SO ₄]
Цинк	Сфалерит	ZnS
	Смитсонит	Zn[CO ₃]
Олово	Касситерит	SnO ₂
	Станнин	Cu ₂ FeSnS ₄

Окончание таблицы 3

Никель	Пентландит	$(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$
	Никелин	NiAs
Кобальт	Кобальтин	$\text{Co}[\text{AsS}]$
	Скуттерудит	$\text{Co}_4[\text{As}_4]_3$
	Эритрин	$\text{Co}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Хром	Хромшпинелиды	$(\text{Mg}, \text{Fe})(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_4$
Марганец	Пиrolюзит	MnO_2
	Псиломелан	$m\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
	Манганит	$\text{MnO}_2 \cdot \text{Mn}(\text{OH})_2$
	Браунит	Mn_2O_3
	Гаусманит	Mn_3O_4
	Родохрозит	$\text{Mn}[\text{CO}_3]$
	Родонит	$(\text{Mn}, \text{Ca})\text{SiO}_3$
Алюминий	Гиббсит	$\text{Al}(\text{OH})_3$
	Бемит	AlOOH
	Диаспор	HAlO_2
	Нефелин	$\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$
Мышьяк	Арсенопирит	$\text{Fe}[\text{AsS}]$
Сурьма	Стибнит (антимонит)	Sb_2S_3
Ртуть	Киноварь	HgS
Вольфрам	Вольфрамит	$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$
	Шеелит	$\text{Ca}[\text{WO}_4]$
Молибден	Молибденит	MoS_2
Уран	Уранинит	UO_2
Редкоземельные элементы (РЗЭ)	Монацит	$(\text{Ce}, \text{La} \dots)[\text{PO}_4]$
Тантал, ниобий	Колумбит-танталит	$(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$

3. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В российской геологической практике общепринятой является классификация месторождений, разработанная В.И. Смирновым (табл. 4). В основе данной классификации – геологические и физико-химические условия образования месторождений.

В классификации В.И. Смирнова выделяются 3 генетические серии месторождений: эндогенная, метаморфогенная и экзогенная. *Эндогенные месторождения* формируются благодаря магматическим процессам под воздействием внутренней энергии Земли. *Метаморфогенные месторождения* формируются в результате интенсивного преобразования горных пород на большой глубине. *Экзогенные месторождения* образуются в приповерхностных условиях в связи с процессами, обусловленными действием солнечной энергии и гравитации.

Перечисленные серии делятся на группы, которые, в свою очередь, разделены на классы и более дробные подразделения.

Таблица 4

Генетическая классификация месторождений полезных ископаемых, из (Смирнов, 1982, Ибламинов, 2019) с дополнениями

Серия	Группа	Класс	Основные типы месторождений
ЭНДОГЕННАЯ	Магматическая	Ликвационный	- сульфидные Cu-Ni в ультраосновных и основных комплексах
		Кристаллизационный	- титаномагнетитовые в основных комплексах - апатит-нефелиновые в щелочных комплексах - хромитовые в расслоенных комплексах
		Реститовый	- хромитовые в офиолитовых комплексах
		Флюидно-магматический	- алмазов в кимберлитах - редкоземельных элементов в карбонатитах

Серия	Группа	Класс	Основные типы месторождений
ЭНДОГЕННАЯ	Пегматитовая	Метаморфогенный	- керамического сырья - мусковита
		Магматогенный	- редких металлов и цветных камней в гранитных пегматитах
	Альбитит-грейзеновая	Альбититовый	- редких металлов в редкометалльных гранитах
		Грейзеновый	- Sn-W - Be
	Скарновая	Известковый	- Fe, W-Mo, Cu, Pb-Zn, Au
		Магнезиальный	- Fe, Cu, Mo, Sn - бора в датолитовых скарнах
		Силикатный	- железорудные
	Гидротермальная	Плутоногенный	- Cu-Mo-Au порфировые - Sn-W жильные - кварц-золоторудные - Pb-Zn жильные - пятиэлементные (Ni-Co-As-Ag-Bi) жильные
		Вулканогенный	- Au-Ag эпитеермальные - Hg в эффузивных комплексах
		Гидротермально-осадочный	- Cu колчеданные - Pb-Zn колчеданные
		Амагматогенный	- Cu стратиформные - Sb-Hg жильные в осадочных толщах - Pb-Zn в карбонатных толщах (тип долины Миссисипи) - осадочно-эксталяционные Pb-Zn (тип SEDEX) - золоторудные карлинского типа

Серия	Группа	Класс	Основные типы месторождений
МЕТАМОРФОГЕННАЯ	Мета-морфизованная	Регионально-метаморфизованный	- железистых кварцитов - марганцевые - Au-U в конгломератах - золоторудные в черных сланцах
		Локально-метаморфизованный	- корунда - графита
	Мета-морфическая	Регионально-метаморфический	- высокоглиноземистого сырья - наждака - мраморов, кварцитов, яшм - графита
		Локально-метаморфический	- графита - алмазов в импактных структурах
ЭКЗОГЕННАЯ	Выветривания	Остаточный	- Al, Fe, Ni в корах выветривания
		Инфильтрационный	- U, Cu в терригенных толщах
	Осадочная	Механический	- россыпные Au, Pt, Sn, Ti, Zr, алмазов
		Химический	- галита, сильвина, гипса, Li
		Биохимический	- карбонатных и кремнистых пород, фосфоритов - каустобиолитов

4. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЭНДОГЕННОЙ СЕРИИ

4.1. Магматическая группа

Магматические месторождения образуются в результате выплавления, дифференциации и кристаллизации магматических расплавов. Такие месторождения пространственно и генетически связаны с ультраосновными, основными и щелочными магматическими комплексами.

Ликвационный класс. К данному классу относятся месторождения сульфидных медно-никелевых и некоторых других руд, образующиеся в результате ликвации магматических расплавов и ассоциирующие с расслоенными магматическими комплексами ультраосновного и основного состава (габбро-нориты, перидотиты, дуниты, коматииты).

Ликвация – это разделение остывающего магматического расплава на силикатную и сульфидную жидкости, не смешивающиеся друг с другом. В сульфидной жидкости при этом концентрируются металлы: Cu, Ni, Co, Au, платиноиды. При дальнейшем понижении температуры из сульфидной жидкости кристаллизуются рудные минералы: халькопирит, пирротин, пентландит, кубанит (CuFe_2S_3), миллерит (NiS), платина и др.

К факторам, контролирующим ликвацию магматического расплава, относятся температура, давление, содержание серы и железа, окислительно-восстановительные условия. Растворимость серы в силикатном расплаве уменьшается вместе с температурой. Высокое содержание железа увеличивает растворимость сульфидов и препятствует ликвации. Необходимое для развития сульфидной минерализации количество серы может быть ассимилировано расплавом из вмещающих пород (сульфатов, углей, высокоуглеродистых сланцев).

Сульфидная часть расплава кристаллизуется позже силикатной, поэтому отдельные капли сульфидной жидкости могут сливаться друг с другом, образуя крупные линзы и инъекции во вмещающих породах. Рудные тела обычно имеют пластообразную и линзовидную форму и локализуются в придонных частях интрузий. Для руд характерны массивные текстуры (рис. 4.1а).

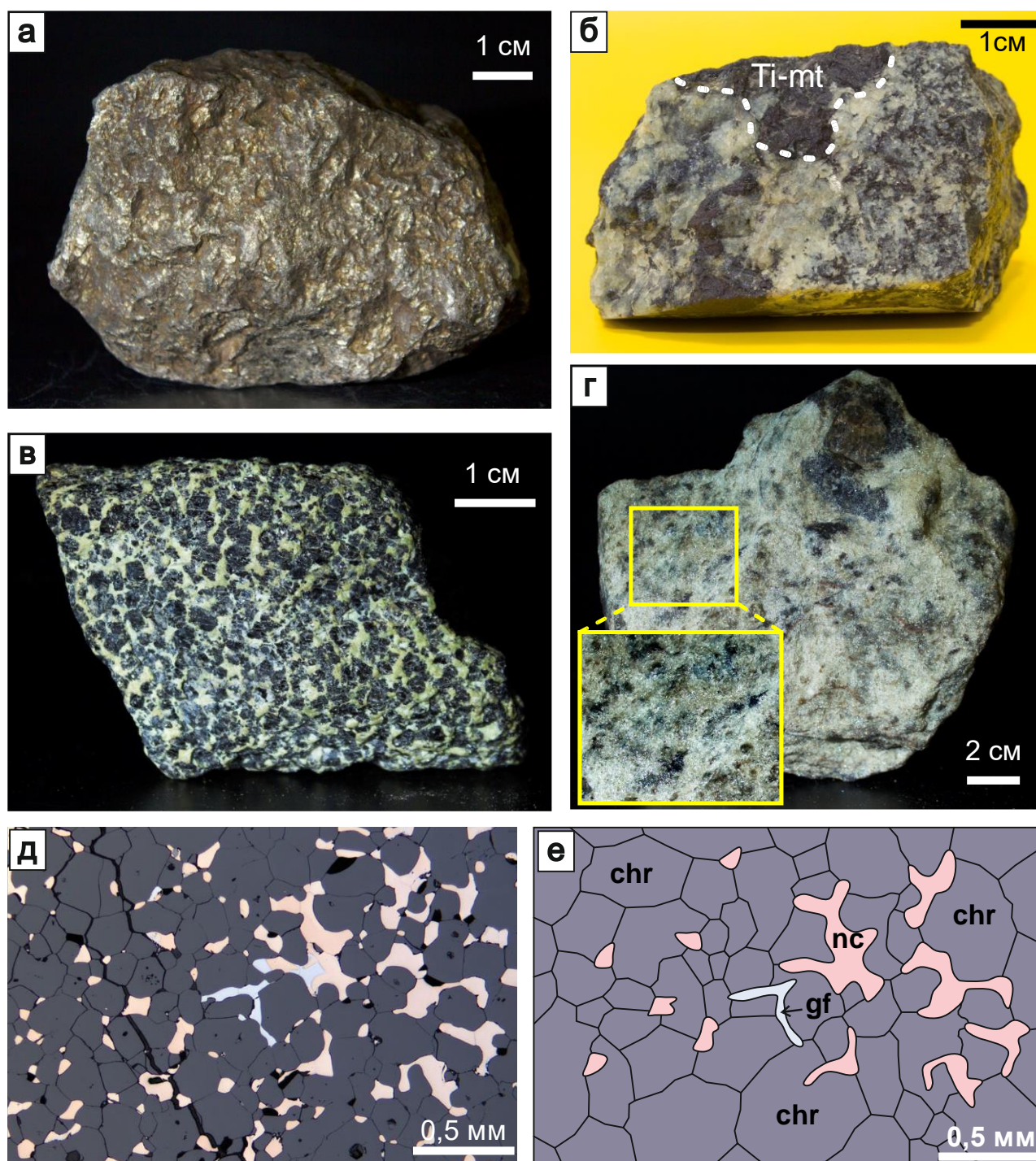


Рис. 4.1. Руды магматических месторождений: а – халькопирит-пентландит-пирротиновая руда, массивная текстура; б – габбро с вкрапленным оруденением титаномагнетита (Ti-mt); в – хромитовая руда, нодулярная («рябчиковая») текстура; г – апатит-нефелиновая руда; д, е: хромитовая руда, гипидиоморфнозернистая структура (chr – хромит, nc – никелин, gf – герсдорфит), микрофотография (д) и схематическая зарисовка (е) аншлифа, из (Castroviejo, 2011)

Примеры месторождений: месторождения *Норильской группы*: *Норильск-1, Талнахское, Октябрьское* (Cu, Ni, платиноиды – Россия), *Садбери* (Cu, Ni – Канада).

Кристаллизационный класс. К данному классу относятся месторождения, образующиеся в результате кристаллизации рудных минералов непосредственно из магматического расплава ультраосновного, основного или щелочного состава.

Рудные минералы могут кристаллизоваться как на ранних, так и на поздних стадиях остывания расплава, в связи с чем выделяют *ранне- и позднемагматические месторождения*. В большинстве случаев экономический интерес представляют лишь позднемагматические месторождения (Смирнов, 1982). Их образование связано с процессом кристаллизационной дифференциации расплава и накоплением в нем ценных компонентов (Fe, Ti, P и др.).

В результате дифференциации магм ультраосновного и основного состава формируются титаномagnetитовые, хромитовые и платиновые руды. Минеральный состав титаномagnetитовых руд представлен титаномagnetитом (твердый раствор magnetита и ульвешпинели, часто с повышенным содержанием ванадия), хромитовых – хромшпинелидами (хромит, магнохромит), платиновых – платиной, поликсенном, Pt-содержащими сульфидами Cu и Ni и другими минералами. Руды часто имеют сидеронитовую структуру, характеризующуюся срастанием идиоморфных кристаллов силикатов (оливин, плагиоклазы, пироксены) с ксеноморфными зернами рудных минералов, выполняющими роль цемента. Текстуры руд разнообразны: для титаномagnetитовых руд характерны вкрапленные текстуры (рис. 4.1б), для хромитовых – нодулярные («рябчиковые», рис. 4.1в), полосчатые и массивные. Рудные тела обычно представлены пласто- и линзообразными залежами в расслоенных интрузивных телах ультраосновного и основного состава.

В результате дифференциации магм щелочного состава формируются месторождения апатит-нефелиновых руд. Такие месторождения

немногочисленны и связаны со сложно построенными щелочными массивами центрального типа. Вмещающими для рудных залежей являются нефелиновые породы – ийолиты и уртиты. Руды сложены апатитом и нефелином (рис. 4.1г). Для них характерны массивные, полосчатые и пятнистые текстуры.

Примеры месторождений: *Качканарское* (Fe – Средний Урал), *Аганозерское* (Cr – Карелия), месторождения Хибинского массива: *Кукисвумчоррское*, *Юкспорское* и др. (apatит-нефелиновые руды – Кольский полуостров), *Бушвельд* (платиноиды, Cr – ЮАР).

Реститовый класс. Данный класс включает *подиформные* месторождения хромитовых руд (от англ. *rod* – стручок, чечевица), образование которых связано с частичным плавлением и дифференциацией мантийного вещества в зонах спрединга. Выплавляющиеся здесь магмы имеют базальтовый состав и служат материалом, из которого формируется земная кора океанического типа. Мантийное вещество, от которого отделился базальтовый расплав, называется *реститом*. Петрографически такое вещество представляет собой перидотит – ультраосновную породу, сложенную тугоплавкими минералами: оливином, пироксеном, хромшпинелидами. Предполагается, что при инфильтрации базальтовых расплавов через мантийные перидотиты происходит их насыщение хромом и возникают условия, благоприятные для кристаллизации хромита (рис. 4.1д, е).

Поскольку рудная минерализация развивается в каналах, по которым шло восходящее движение мантийных выплавов, рудные тела имеют линзовидную и столбообразную форму, с чем и связано название данного типа месторождений. Вмещающими породами для подиформных хромитов служат перидотиты и дуниты. Месторождения приурочены к офиолитовым комплексам – фрагментам древней океанической коры в складчатых поясах континентов.

Примеры месторождений: *Кемпирсайское* (Cr – Казахстан).

Флюидно-магматический класс. Месторождения данного класса связаны с магматическими образованиями, в формировании

которых активно участвуют мантийные флюиды (Ибламинов, 2019). Среди таких образований наиболее распространены кимберлиты и карбонатиты, в меньшей степени – лампроиты.

Кимберлиты – это богатые калием ультраосновные магматические породы, слагающие диатремы, дайки, жилы и штоки. Для кимберлитов характерна неравномернозернистая структура, обусловленная присутствием вкрапленников оливина, энстатита, хромита, пиропы и некоторых других минералов в мелкозернистой основной массе. Обычно кимберлиты содержат также захваченные фрагменты (ксенолиты) пород верхней мантии – перидотитов и эклогитов.

Кимберлитовые магмы выплавляются из пород верхней мантии на глубинах 150–200 км и являются, таким образом, наиболее глубинными магмами, достигающими земной поверхности. Большое количество флюидов обеспечивает быстрый подъем расплава к земной поверхности и формирование трубок взрыва в верхних горизонтах земной коры. Локализуются трубки в местах пересечения разломов глубинного заложения в наиболее мощных участках континентальной литосферы.

Главным полезным ископаемым кимберлитовых трубок являются алмазы. Алмазы присутствуют в кимберлитах в виде отдельных захваченных кристаллов либо в составе ксенолитов перидотитов и эклогитов. Стоит отметить, что лишь небольшая (около 10 %) часть кимберлитов является алмазоносной. Кристаллизация алмазов как и выплавление кимберлитовых магм происходит в верхней мантии. Предполагается, что основную роль в формировании алмазов играют метасоматические реакции между С-содержащими флюидами и мантийными породами.

Примеры месторождений: Якутская алмазоносная провинция (трубки *Мир*, *Удачная*, *Айхал* и др., Россия); Архангельская алмазоносная провинция (им. *В.П. Гриба*, им. *М.В. Ломоносова*, Россия), *Джаваненг* (Ботсвана).

Карбонатиты – это магматические породы, состоящие более чем на 50 % из первичных карбонатных минералов – кальцита, доломита,

сидерита, анкерита. Второстепенными минералами являются флогопит, апатит, магнетит, эгирин, циркон. Карбонатиты залегают в составе ультраосновных и щелочно-ультраосновных плутонических и вулканических комплексов сложного строения, приуроченных к древним платформам и областям континентального рифтогенеза. Согласно наиболее популярной модели, карбонатитовые магмы являются продуктом ликвации карбонатно-силикатных магм, выплавляющихся в верхней мантии. Многими исследователями отмечается генетическая близость карбонатитовых и кимберлитовых магм.

С карбонатитами связаны месторождения железных руд, редкоземельных элементов, ниобия, тантала, циркония, урана. Основными рудными минералами являются магнетит, перовскит (CaTiO_3), бастнезит $((\text{Ce}, \text{La} \dots)[\text{CO}_3]\text{F})$, паризит $(\text{Ca}(\text{Ce}, \text{La} \dots)_2[\text{CO}_3]_3\text{F}_2)$, монацит. Формирование рудной минерализации обусловлено процессами кристаллизационной дифференциации карбонатитовой магмы.

Примеры месторождений: *Ковдорское* (Fe, Zr, апатит – Мурманская область), *Томторское* (редкоземельные элементы – Якутия), *Баян-Обо* (редкоземельные элементы – Китай).

4.2. Пегматитовая группа

В данную группу входят месторождения, приуроченные к *пегматитам* – гигантокристаллическим породам, залегающим в виде жил и гнезд в интрузивных и метаморфических комплексах. По происхождению пегматиты и связанные с ними месторождения делятся на *магматогенные* и *метаморфогенные*. Образование магматогенных пегматитов связывают с кристаллизацией специфических пегматитовых расплавов, обогащенных летучими компонентами и формирующихся в результате эволюции магматического расплава. Метаморфогенные пегматиты образуются в результате анатектического плавления метаморфических пород на больших глубинах.

По вещественному составу пегматиты разделяются на *гранитные*, *щелочные*, *ультраосновные*, *десилицированные* и *гибридные*. Наибольшее экономическое значение имеют гранитные пегматиты. Их

минеральный состав (кварц, калиевые полевые шпаты, мусковит, плагиоклаз) близок граниту. Характерной чертой является зональное строение пегматитовых тел и наличие графических текстур, обусловленных закономерным срастанием кварца и калиевого полевого шпата (рис. 4.2а).

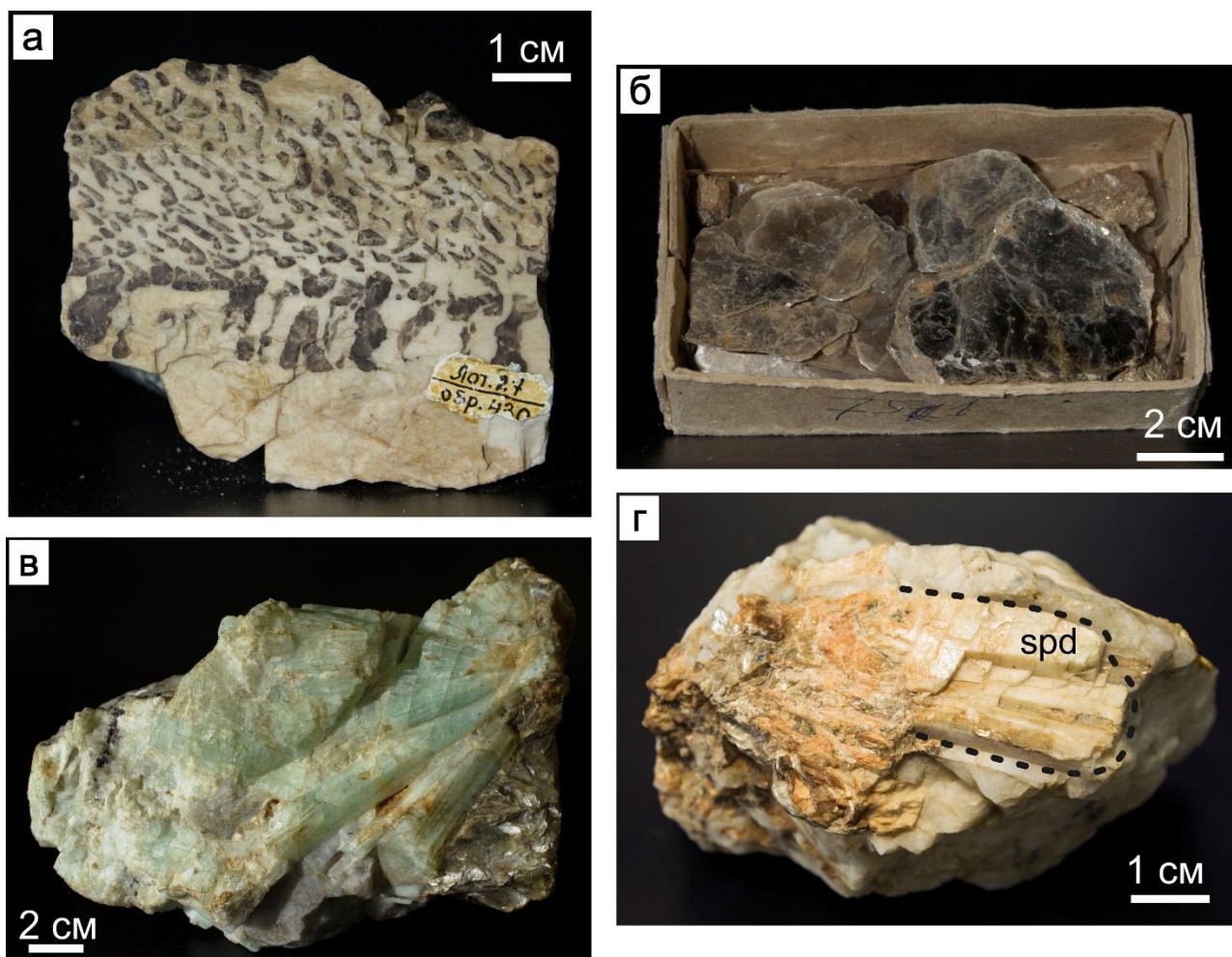


Рис. 4.2. Текстуры и минералы гранитных пегматитов: а – графическая текстура; б – кристаллы мусковита; в – радиально-лучистый агрегат кристаллов берилла; г – сподумен (spd)

Среди гранитных пегматитов выделяют несколько типов, различающихся по минеральному составу, условиям залегания, происхождению и промышленной значимости. *Абиссальные* пегматиты образуются за счет анатексиса в условиях высоких давлений и температур, сложены кварцем и полевым шпатом и не имеют большого экономического значения. *Мусковитовые* пегматиты также образуются за счет

анатексиса, но при меньших температурах. С ними связаны месторождения керамического сырья и мусковита (рис. 4.2б). *Редкометалльные* пегматиты пространственно и генетически связаны с гранитными интрузиями и содержат минералы редких металлов: берилл (рис. 4.2в), сподумен (рис. 4.2г), петалит, поллуцит, колумбит-танталит, самарскит и др. *Миароловые* пегматиты связаны с интрузивными телами, образуются на небольшой глубине и содержат в себе пустоты (*занорыши*), заполненные крупными кристаллами различных минералов. Миароловые пегматиты являются источником камнесамоцветного и оптического сырья.

Размеры пегматитовых тел могут достигать нескольких сотен метров по простиранию и десятков метров по мощности. Часто они образуют пегматитовые поля. Для пегматитов характерно сложное внутреннее строение, с чем связано неоднородное распределение в них промышленно ценных минералов.

Механизм образования пегматитов является предметом дискуссий. Результаты современных исследований показывают, что кристаллизация гранитных пегматитов происходила из особых расплавов, являющихся продуктом фракционирования кислых магм. Эти расплавы были обогащены летучими компонентами (вода, F, Cl, B) и редкими металлами. Летучие компоненты играли роль минерализаторов, делая возможным быстрый рост крупных (до 10 м) кристаллов. Важную роль в формировании редкометалльного оруденения могли играть метасоматические процессы.

Примеры месторождений: *Колмозерское* (Li – Кольский полуостров), *Вишеневогорское* (Nb, керамическое сырье – Южный Урал), *Бикита* (Li, Cs, Be, Ta – Зимбабве), *Володарск-Волынское пегматитовое поле* (кварц, топаз, берилл – Украина).

4.3. Альбитит-грейзеновая группа

Здесь объединяются месторождения, возникающие в верхних частях массивов кислых и щелочных пород при участии метасоматических процессов. В составе группы выделяется два класса – альбититовый и грейзеновый.

Альбититовый класс. Месторождения, как правило, приурочены к массивам *редкометалльных гранитов*, которые часто несут следы интенсивного метасоматического преобразования щелочными флюидами – альбитизации. Продуктом альбитизации являются породы, состоящие преимущественно из альбита – *альбититы*, которые и дали название рассматриваемому классу месторождений.

Породообразующими минералами редкометалльных гранитов являются кварц, калиевые полевые шпаты, плагиоклазы и литиевые слюды. Акцессорные минералы представлены топазом, цирконом, касситеритом, тантало-ниобатами (колумбит, танталит, пироклор, самарскит и др.), криолитом. Массивы редкометалльных гранитов обычно демонстрируют вертикальную зональность (снизу–вверх): 1) биотитовые лейкограниты; 2) микроклин-альбитовые граниты; 3) амазонит-альбитовые граниты; 4) альбит-лепидолитовые граниты. Зоны альбитизации локализуются в апикальных частях интрузий и вдоль тектонических нарушений.

С редкометалльными гранитами связаны месторождения Li, Be, Ta, Nb, Sn, W и других редких металлов. Рудная минерализация весьма разнообразна и может быть представлена лепидолитом, циннвальдитом, цирконом, монацитом, пироклором, колумбитом-танталитом. Типично прожилково-вкрапленное оруденение.

Происхождение редкометалльных гранитов и связанных с ними месторождений является предметом дискуссий. Одни авторы отводят ведущую роль в формировании месторождений метасоматизму, другие – кристаллизационной дифференциации гранитных магм. В настоящее время большая часть исследователей склоняется ко второй гипотезе, не исключая при этом участия метасоматических процессов в развитии рудной минерализации.

Примеры месторождений: *Катугинское* (Nb, Zr, криолит – Забайкалье), *Халзан-Бурегтей* (РЗЭ, Zr, Ta, Nb – Монголия), *Баерже* (РЗЭ, Nb, Zr, Be – Китай), *Стрейндж-Лэйк* (РЗЭ, Y, Nb, Zr, Be – Канада).

Грейзеновый класс. Грейзеновые месторождения образуются в результате автометасоматической переработки гранитов кислым

высокотемпературным (300–550°C) флюидом, обогащенным летучими компонентами. Породообразующими минералами грейзенов являются кварц и светлые слюды (мусковит, лепидолит, циннвальдит). Часто присутствуют флюорит, топаз, турмалин (рис. 4.3).

Грейзены локализуются в верхних частях гранитных интрузий, а также во вмещающих их горных породах. Они слагают тела неправильной формы, линзы, жилы. Образованию грейзенов часто предшествует развитие пегматитовых тел.

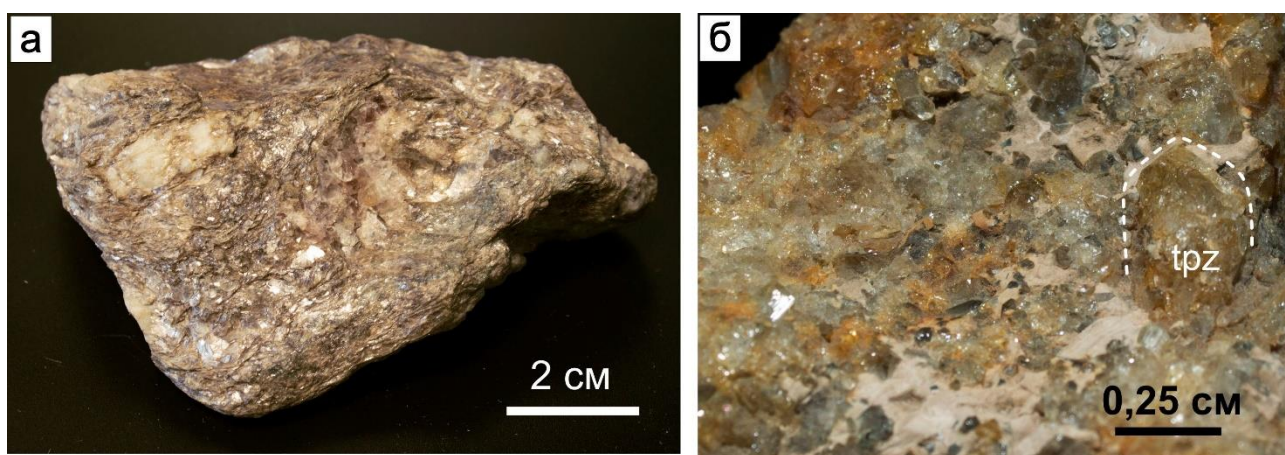


Рис. 4.3. Грейзен кварц-мусковитовый с флюоритом (а); грейзен топазовый (tpz – топаз) (б)

С грейзенами связаны месторождения вольфрама, молибдена, олова, лития, бериллия, флюорита, цветных камней (турмалина, топаза) и оптического сырья. Главными рудными минералами являются вольфрамит, шеелит, касситерит, молибденит, циннвальдит, лепидолит. Основными формами рудных тел являются жилы и штокверки. Как правило, грейзеновые месторождения характеризуются богатыми рудами и небольшими запасами.

Образование грейзеновых месторождений происходит на постмагматическом этапе, когда от магматического расплава отделяется кислый флюид, преобразующий ранее затвердевшие породы. Источником рудного веществ обычно служат породы материнской интрузии. Предпосылкой рудообразования является повышенное содержание полезного компонента в материнской интрузии.

Примеры месторождений: *Правоурмийское* (Sn, W – Хабаровский край), *Шерловая гора* (берилл, топаз – Забайкалье), *Циннвальд-Циновец* (Sn, Li – Германия, Чехия), *Корнуолл* (Sn – Великобритания).

4.4. Скарновая группа

К данной группе относятся месторождения, пространственно и генетически связанные со *скарнами*. Скарны – контактово-метасоматические породы известково-силикатного, магнезиально-силикатного и железисто-силикатного состава, формирующиеся, как правило, при внедрении кислых и средних интрузий в карбонатные толщи. Образование скарнов протекает в условиях средних и высоких температур (500–1000 °C), относительно небольших глубин (первые км) и близкого к нейтральному pH метасоматических флюидов.

В зависимости от состава субстрата различают *известковые*, *магнезиальные* и *силикатные* скарны, развивающиеся по известнякам, доломитам и алюмосиликатным породам соответственно. По пространственному расположению различают *эндоскарны*, формирующиеся в пределах интрузива, и *экзоскарны* во вмещающих породах. Мощность зон скарнирования варьирует в широких пределах и может достигать 1 км. Высокая проницаемость пород и небольшое литостатическое давление способствуют инфильтрации метасоматического флюида и диффузии растворенных в нем компонентов на большие расстояния.

Главными минералами *известковых* скарнов являются кальциевые гранаты (гроссуляр, андрадит) и пироксены (диопсид, геденбергит), волластонит, эпидот, кальцит; *магнезиальных* – диопсид, форстерит, шпинель, флогопит, доломит (рис. 4.4). Отличительным признаком *силикатных* скарнов является присутствие скаполита. Для скарнов характерна зональность, проявленная в изменении их минерального состава в направлении от контактов интрузива.

Со скарнами связаны многочисленные месторождения полезных ископаемых: железа, меди, цинка, свинца, вольфрама, молибдена, кобальта, золота, платины, бора, цветных и поделочных камней и др.

Среди рудных минералов наиболее распространены магнетит, халькопирит, вольфрамит, шеелит, молибденит, галенит, сфалерит. Рудные тела представлены пластами, линзами, жилами, гнездами. Текстуры руд весьма разнообразны (массивные, пятнистые, прожилково-вкрапленные, брекчиевые и др.).

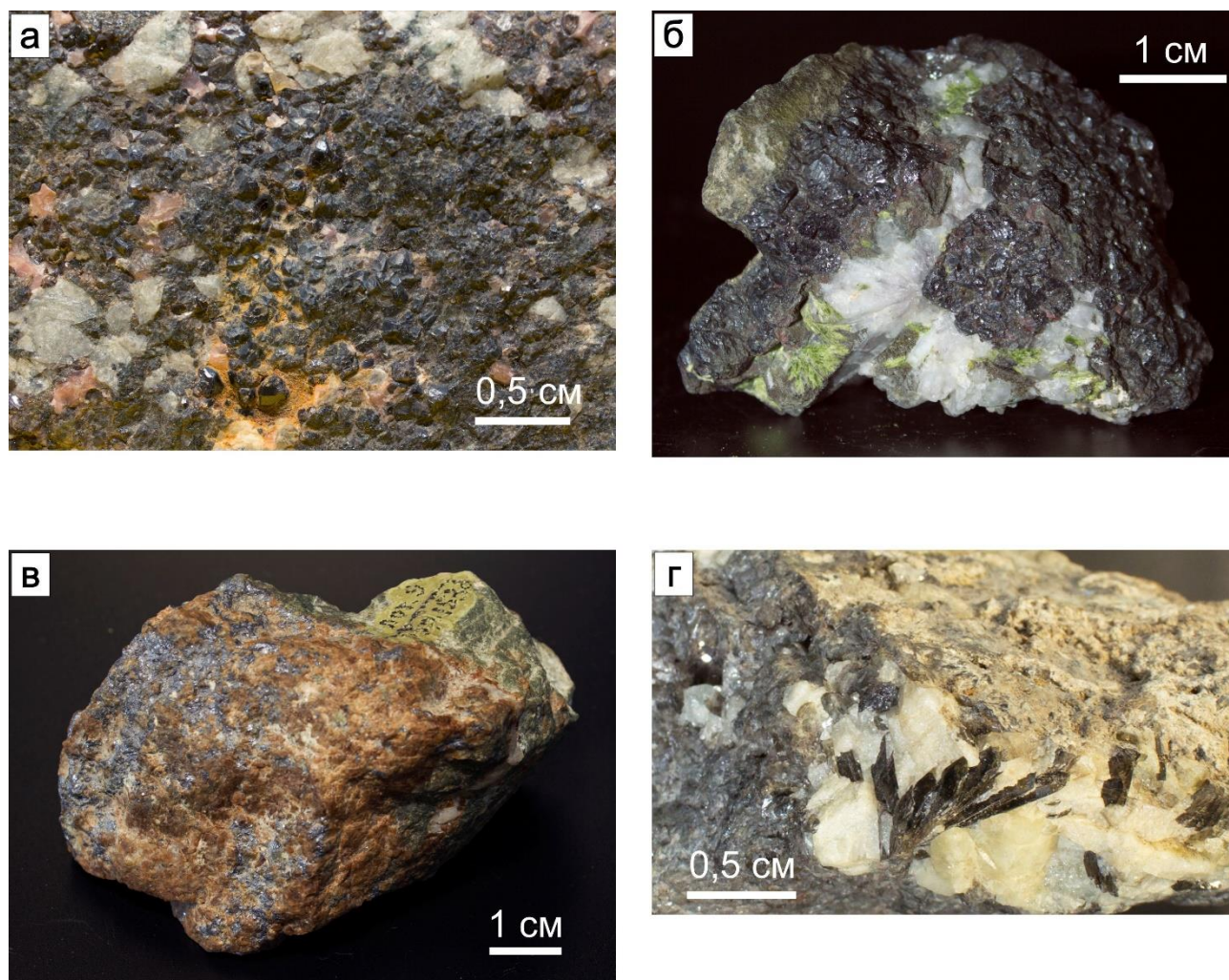


Рис. 4.4. Минеральный состав скарнов: а – скарн пироксен-гранатовый с родохрозитом и кальцитом; б – скарн магнетитовый с эпидотом; в – скарн пироксен-гранатовый с молибденитом; г – датолитовый скарн

Рудообразование может происходить как одновременно с образованием скарнов, так и позднее, в связи с деятельностью низкотемпературных гидротермальных растворов. В последнем случае формируются *апоскарновые месторождения*. Главными факторами, контроли-

рующими специализацию скарнового месторождения, являются окислительно-восстановительная обстановка магматического расплава и химический состав вмещающих пород.

Примеры месторождений: *Коршуновское* (Fe – Иркутская область), *Высокогорское* (Fe – Средний Урал), *Тырныаузское* (W, Mo – Кабардино-Балкария), *Дальнегорское* (Pb, Zn, В – Приморье), *Сарбайское* (Fe – Казахстан), *Антамина* (Cu, Mo, Zn – Перу), *Кухилал* (шпинель – Таджикистан).

4.5. Гидротермальная группа

Месторождения данной группы образуются при отложении рудных компонентов из нагретых (более 50°C) водных растворов, циркулирующих в земной коре. В состав гидротермальных растворов входят газы (CO₂, CH₄, H₂S) и другие компоненты. По происхождению различают магматогенные, метаморфогенные и метеорные гидротермальные флюиды, а также флюиды смешанного происхождения. Источником рудных компонентов могут служить магматические расплавы, а также породы, с которыми взаимодействует флюид. Рудные компоненты переносятся в виде комплексных соединений, ионов, молекул, коллоидных частиц. Выпадение рудных компонентов из растворов и формирование рудных залежей связано с такими факторами, как резкие изменения давления, окислительно-восстановительных условий, кислотности, взаимодействие флюида с вмещающими породами и другими флюидами. Среди рудных тел наиболее распространены жилы и штокверки. Во вмещающих породах обычно развиты окolorудные метасоматические изменения (окварцевание, пропилитизация, аргиллизация, серицитизация и др.).

Плутоногенный класс. Плутоногенные гидротермальные месторождения генетически связаны с интрузиями среднего и кислого состава. Остывающие интрузивные тела служат источником гидротермальных растворов, циркулирующих в эндо- и экзоконтактовой зонах. Источником рудного вещества служат как сами интрузии, так и

вмещающие породы. Глубины формирования месторождений составляют 1–5 км, температуры – 100–500°C.

К плутоногенному классу относятся крупные по запасам месторождения меди, молибдена и золота порфирового типа, высокотемпературные жильные месторождения олова и вольфрама, жильные месторождения свинца, цинка, мышьяка, висмута, кобальта, урана, золота, серебра и других металлов. С месторождениями рассматриваемого класса часто сопряжены скарны, грейзены и низкотемпературные вулканогенные месторождения.

Рудные минералы крайне разнообразны: халькопирит, борнит, галенит, сфалерит, арсенопирит, кобальтин, висмутин, молибденит, куприт, касситерит, вольфрамит, уранинит, золото, серебро и др. (рис. 4.5). Среди жильных минералов наиболее распространены кварц и карбонаты, более редки флюорит, турмалин, топаз, сидерит.

Основные формы рудных тел – жилы и штокверки. Для руд характерны прожилково-вкрапленные, крустификационные, брекчиевые, кокардовые, друзовые текстуры.

Примеры месторождений: *Березовское* (Au – Средний Урал), *Депутатское* (Sn – Якутия), *Песчанка* (Cu, Au – Чукотка), *Садон* (Pb, Zn – Северный Кавказ), *Ховуаксинское* (Co – Тыва), *Сатка* (магнетит – Южный Урал), *Бакал* (сидерит – Южный Урал), *Бингем-Каньон* (Cu – США), *Клаймакс* (Mo – США), *Актогай* (Cu, Mo – Казахстан), *Шнеберг* (U – Германия).

Вулканогенный класс. Вулканогенные гидротермальные месторождения связаны с субаэральными вулканическими постройками. Оруденение локализуется в жерлах вулканов, лавовых потоках, а также во вмещающих вулканические комплексы породах. Часто устанавливается генетическая связь с залегающим на глубине интрузивным телом, служащим источником как самого гидротермального флюида, так и энергии для его циркуляции.

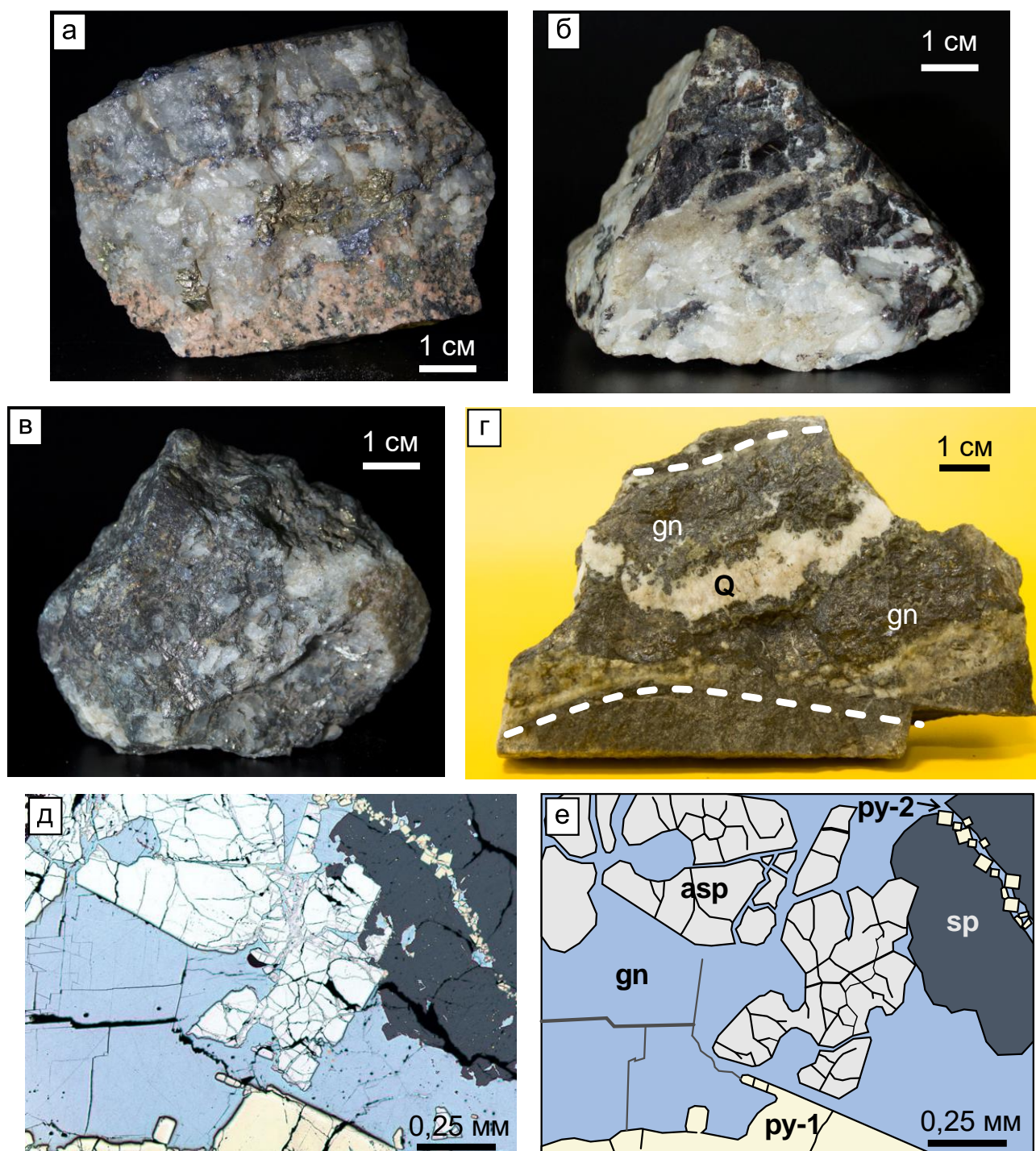


Рис. 4.5. Руды гидротермальных месторождений плутоногенного класса: а – вкрапленность халькопирита и молибденита в окварцованном гранодиорите; б – вольфрамит в кварце; в – арсенопирит в кварце; г – кварц-галенитовая жила, крустификационная текстура (Q – кварц, gn – галенит); д, е: раздробленная структура агрегата рудных минералов (asp – арсенопирит, sp – сфалерит, py-1 – пирит первой генерации, py-2 – пирит второй генерации), микрофотография (д) и схематическая зарисовка (е) аншлифа, из (Castroviejo, 2011)

К вулканогенному классу относятся эпитеермальные (низкотемпературные) месторождения золота, серебра, сурьмы, ртути, алунита, самородной серы. Рудные тела представлены в основном жилами. Жильные минералы включают кварц, адуляр, кальцит, барит, флюорит (рис. 4.6а). Во вмещающих жилы породах развиты окolorудные метасоматические изменения.

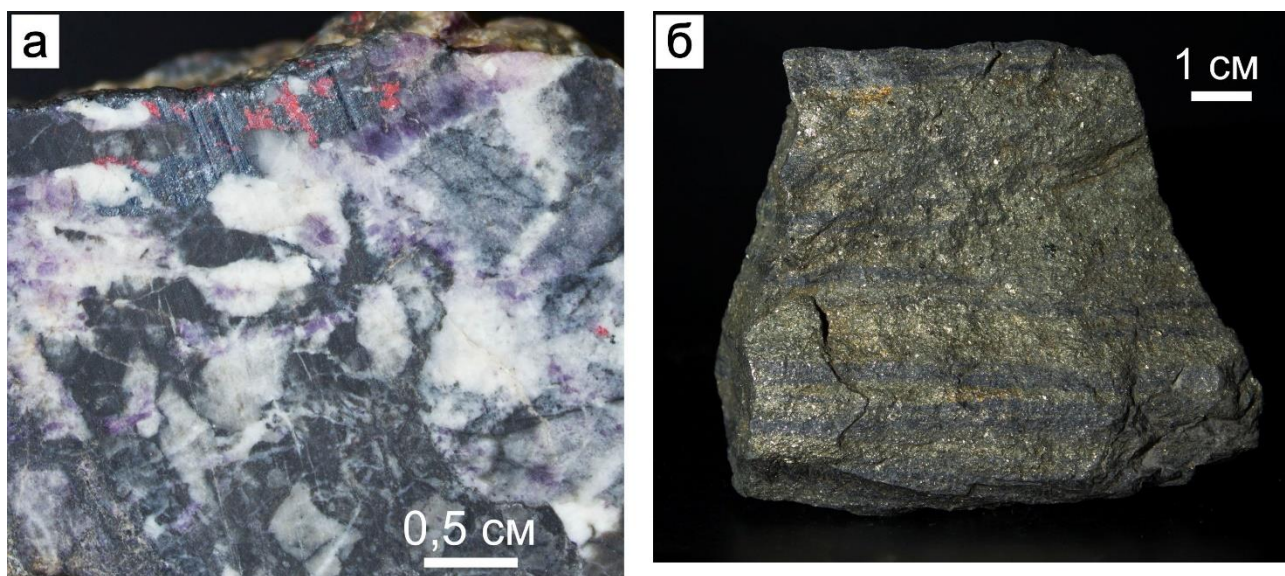


Рис. 4.6. Руды гидротермальных месторождений вулканогенного класса: а – киноварь со стибнитом и флюоритом; б – медно-колчеданная руда, полосчатая текстура

Примеры месторождений: *Дукат* (Au, Ag – Магаданская область), *Купол* (Au, Ag – Чукотка), *Нью-Альмаден* (Hg – США), *Оруро* (Sn, W, Ag – Боливия).

Гидротермально-осадочный класс. Гидротермально-осадочные месторождения формируются в результате деятельности гидротермальных систем, связанных с субаквальным вулканизмом. К данному классу относятся *колчеданные месторождения* меди, свинца, цинка, золота и ряда других металлов.

Колчеданными называют месторождения сульфидных руд, ассоциирующие с подводным базальтоидным вулканизмом. Их формирование связано с древними аналогами современных «черных курильщиков» – высокотемпературных гидротерм, функционирующих на дне

океанов в обстановках растяжения земной коры (срединно-океанические хребты, задуговые бассейны). Рудоносные гидротермальные растворы образуются при конвективной циркуляции морской воды в вулканических породах морского дна, служащих источником рудного вещества. Источником энергии, поддерживающим конвективную циркуляцию, выступает тепло интрузивных тел, внедряющихся на более глубоких уровнях океанической коры. В результате разгрузки и охлаждения восходящих растворов на морском дне отлагаются сульфиды металлов (пирит, халькопирит, сфалерит, галенит), формирующие пластообразные и линзовидные рудные тела с характерными массивными и полосчатыми текстурами (рис. 4.6б).

Примеры месторождений: *Гайское* (Cu – Оренбургская область), *Риддер-Сокольное* (Pb, Zn, Cu – Рудный Алтай, Казахстан), месторождения *Иберийского пиритового пояса* (Pb, Zn – Испания).

Амагматогенный класс. Гидротермальные месторождения амагматогенного класса возникают вне явной связи с магматизмом. Вмещающими породами для них служат терригенные и карбонатные осадочные толщи. Месторождения данного класса делятся на стратиформные и жильные (Ибламинов, 2019). Стратиформные месторождения представлены пласто-, линзо- и лентообразными рудными телами. Жильные месторождения характеризуются наложенным оруденением, приуроченным к разрывным нарушениям.

К данному классу относятся низкотемпературные месторождения меди, сурьмы, ртути в терригенных толщах (рис. 4.7), свинцово-цинковые месторождения в карбонатных толщах (тип долины Миссисипи, *Mississippi valley type* – MVT), свинцово-цинковые месторождения в терригенных и терригенно-карбонатных толщах (седиментационно-эксталяционные, *sedimentary-exhalative* – SEDEX), месторождения золота типа Карлин.

Примеры месторождений: *Миргалымсай* (Pb, Zn – Казахстан), *Джезказган* (Cu – Казахстан), *Карлин* (Au – США).

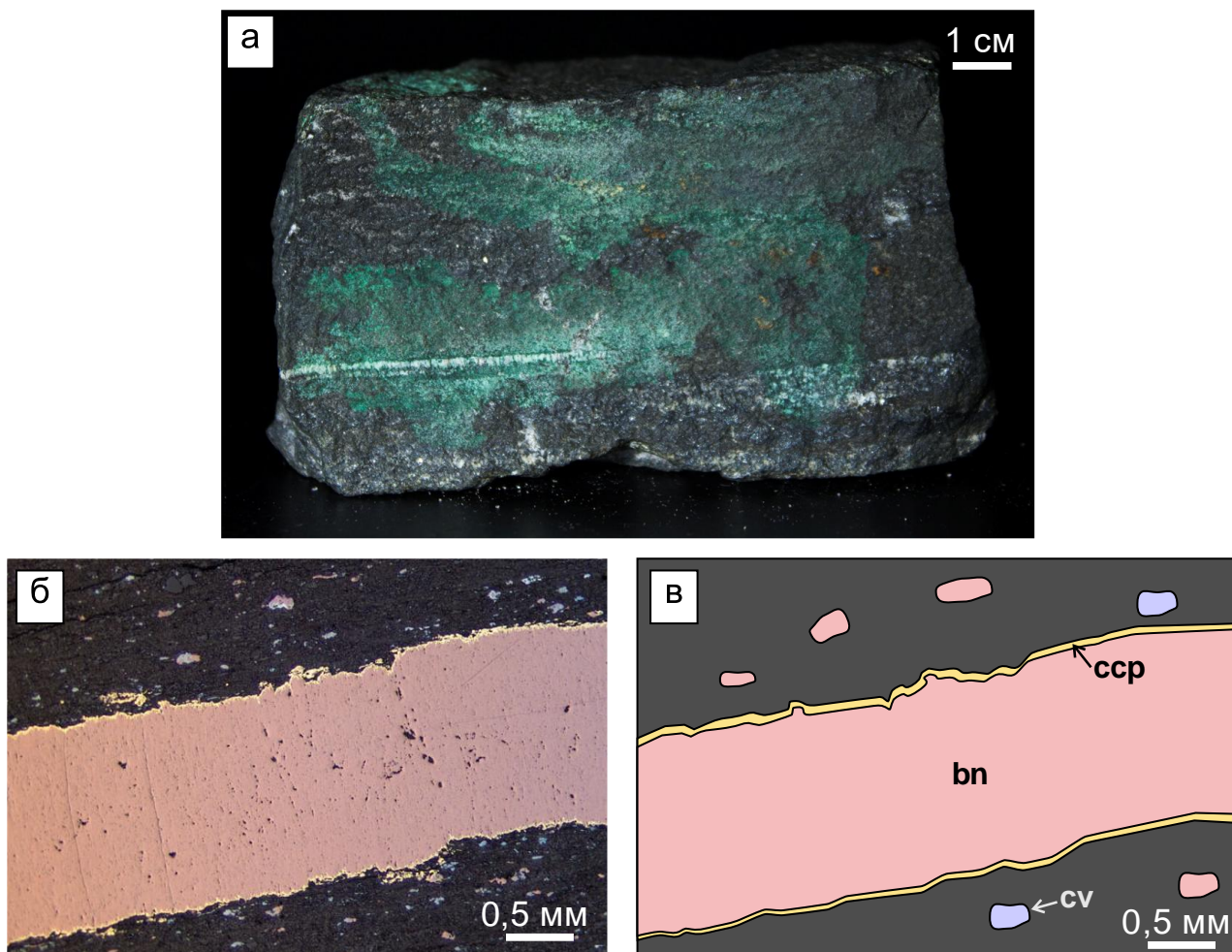


Рис. 4.7. Руды гидротермальных месторождений амагматогенного класса: а – медное оруденение в песчанике (халькозин с малахитом); б, в: полосчатая текстура медистого сланца (bn – борнит, ссп – халькопирит, cv – ковеллин), микрофотография (б) и схематическая зарисовка (в) аншлифа, из (Castroviejo, 2011)

5. МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТАМОРФОГЕННОЙ СЕРИИ

Метаморфогенная серия объединяет месторождения, возникшие за счет перекристаллизации пород под воздействием высоких температур и давлений. В ходе метаморфизма происходит перемещение полезных компонентов и их концентрация в виде рудных тел (например, железные и полиметаллические руды), а также образование новых промышленно ценных минералов (например, корунд и графит).

Месторождения могут возникать как в результате метаморфизма пород, не содержащих скоплений полезных ископаемых, так и в результате преобразования древних месторождений. Соответственно, различают *собственно метаморфическую* и *метаморфизованную* группы месторождений.

5.1. Метаморфические месторождения

Образование собственно метаморфических месторождений происходит за счет перегруппировки полезных компонентов, рассеянных в породах того или иного генезиса. К собственно метаморфическим относятся месторождения глиноземистого сырья (кианит, силлиманит, андалузит), асбеста, рутила, горного хрусталя, поделочных камней и облицовочных материалов (кварцитов, яшм, мраморов), некоторые месторождения корунда, наждака, графита (рис. 5.1в, г). Сюда же можно отнести месторождения керамического сырья и мусковита в метаморфогенных пегматитах, рассмотренные в разделе 4.2, а также импактные месторождения алмазов.

Предпосылкой формирования метаморфических месторождений является первичное накопление полезных компонентов (в рассеянном виде) в исходных породах (в процессе седиментации, кристаллизационной дифференциации и т. п.). Так, месторождения глиноземистого сырья и наждака формировались за счет метаморфизма осадков, богатых глиноземом, графита – метаморфизма сланцев, обогащенных органическим веществом, мраморы – по карбонатным породам, кварциты – по песчаникам.

Примеры месторождений: *Кейвы* (кианит – Кольский полуостров), *Рускеала* (мрамор – Карелия), *Потигайское* (алмазы – Восточная Сибирь), месторождения корундов Мадагаскара.

5.2. Метаморфизованные месторождения

Наиболее часто месторождения данного класса образуются за счет метаморфизма экзогенных скоплений Fe, Mn, Au и U. Обычно они приурочены к определенным стратиграфическим уровням и имеют докембрийский возраст. Рудные тела представлены пластами и линзами, реже жилами. Характерны постепенные переходы между вмещающими породами и рудными телами. Часто прослеживаются текстуры руд, унаследованные от исходных осадочных залежей.

Метаморфизованными являются месторождения железистых кварцитов (рис. 5.1а, д, е), силикатно-карбонатных руд марганца, представленных родонитом, золоторудные месторождения в черносланцевых толщах, золото-урановые месторождения, образованные в результате метаморфизма россыпей, месторождения графита, корунда и др.

Минеральный состав руд и вмещающих пород зависит от состава исходных пород, а также от фации метаморфизма. Так, в результате метаморфизма бедных осадочных и вулканогенно-осадочных руд железа образуются богатые залежи железистых кварцитов.

Процессы рудообразования происходят в условиях прогрессивного или ретроградного метаморфизма и связаны с селективным растворением, плавлением и собирательной кристаллизацией. Метаморфизм часто сопровождается интенсивными тектоническими деформациями. Появляются плейчатые и катакластические текстуры (рис. 5.1б), образуются новые минеральные фазы устойчивые в данной обстановке, происходит укрупнение рудных минералов. Процесс приводит к повышению содержания полезных компонентов и уменьшению количества вредных примесей.

Примеры месторождений: железорудный бассейн *Курской магнитной аномалии* (Центральная Россия), *Сухой Лог* (Au – Иркутская

область), *Слюдянское* (апатит – Иркутская область), *Витватерсранд* (Au, U – ЮАР), железорудный бассейн *Каражас* (Бразилия), *Брокен-Хилл* (Pb, Zn – Австралия).

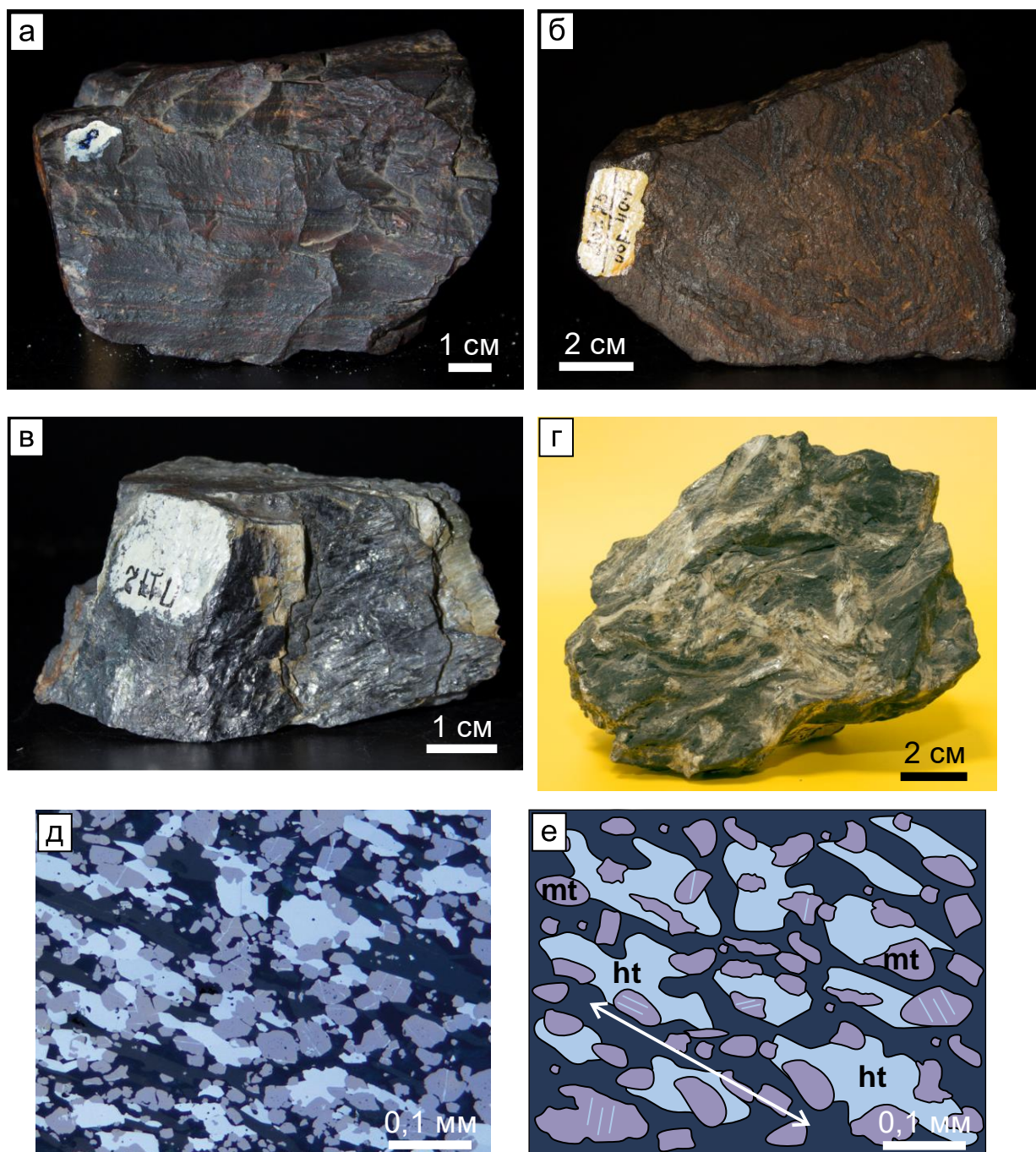


Рис. 5.1. Руды и минералы месторождений метаморфогенной серии: а – железистый кварцит; б – железистый кварцит с пloyчатой текстурой; в – графит; г – кианитовый сланец; д, е: железистый кварцит, нематобластовая структура (mt – магнетит, ht – гематит), микрофотография (д) и схематическая зарисовка (е) аншлифа, из (Castroviejo, 2011)

6. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЭКЗОГЕННОЙ СЕРИИ

6.1. Группа выветривания

К данной группе относятся месторождения, возникшие в связи с процессами физического и химического разрушения горных пород в приповерхностных условиях. Основными факторами, контролирующими формирование месторождений, являются климат, рельеф, состав материнских пород, а также деятельность подземных вод. В группе выветривания выделяются остаточный и инфильтрационный классы.

Остаточный класс. Остаточные месторождения образуются в результате удаления из коры выветривания соединений, неустойчивых в приповерхностных условиях (полевые шпаты, силикаты Fe, Mg и др.), и накопления в ней труднорастворимых минералов, имеющих промышленную ценность.

Основными процессами разрушения минералов в коре выветривания являются растворение, гидратация и гидролиз. Разложение минералов сопровождается выносом легкорастворимых компонентов (Ca, Na, K, Mg, в меньшей степени SiO_2 , Co, Ni, Cu) из коры выветривания в виде взвесей, коллоидных и истинных растворов. Химически устойчивые минералы исходных пород (кварц, рутил), а также труднорастворимые новообразованные минералы (гидроксиды и гидросиликаты алюминия, железа, никеля: гетит, гидрогетит, шамозит, гиббсит, бемит, диаспор, каолинит, нонтронит, непуит), напротив, накапливаются в коре выветривания.

Коры выветривания по кислым породам содержат месторождения каолиновых глин и бокситов (рис. 6.1а). При выветривании ультраосновных и основных магматических пород формируются месторождения железа, никеля (рис. 6.1б) и кобальта, а также магнезита. Стоит также отметить месторождения бентонитов, формирующиеся в результате подводного выветривания (гальмиролиза) вулканогенного материала.

По форме коры выветривания разделяются на площадные, линейные, карстовые и комбинированные. Для площадных кор характерны пла-

щеообразные залежи полезных ископаемых, для линейных – наклонные, крутопадающие тела. В карстовых корях выветривания по карбонатным породам рудные тела повторяют форму карстовых полостей. Текстуры руд весьма разнообразны (массивные, конкреционные, колломорфные, каркасные, рыхлые и др.).

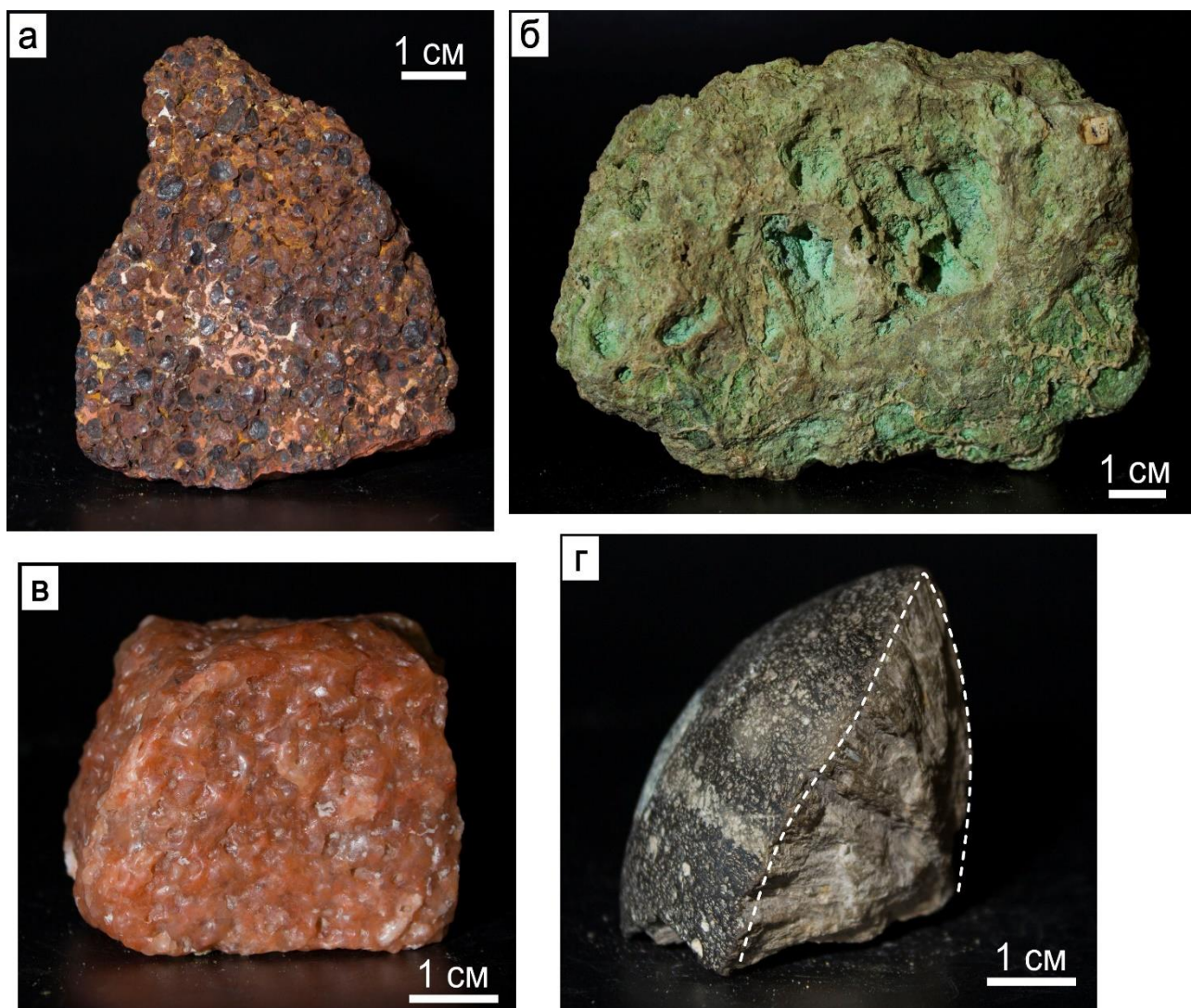


Рис. 6.1. Полезные ископаемые месторождений экзогенной серии: а – боксит (бобовая руда); б – гарниерит; в – карналлит; г – фрагмент фосфоритовой конкреции

Примеры месторождений: *Красная Шапочка* (Al – Средний Урал), *Халиловское* (Fe – Южный Урал), коры выветривания на месторождениях *Курской магнитной аномалии* (Fe – Центральная Россия), никеленосные латериты Новой Каледонии.

Инфильтрационный класс. Инфильтрационные месторождения формируются за счет выноса полезных компонентов из коры выветривания подземными водами и их накопления в виде новообразованных минералов в нижележащих горизонтах. Чаще всего инфильтрационные месторождения приурочены к водоносным горизонтам песков, песчаников и карбонатных пород, залегающим среди водоупорных глинистых толщ. Отложение рудных минералов происходит на участках замедления движения грунтовых вод (механические барьеры) и резкого изменения кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий (физико-химические барьеры).

Рудные тела на месторождениях инфильтрационного класса имеют линзовидную, лентовидную, серповидную форму. Характерно зональное строение залежей, связанное с изменениями физико-химических условий на пути движения подземных вод. Руды имеют вкрапленную, прожилково-вкрапленную, пятнистую текстуру.

Среди месторождений инфильтрационного класса наибольшее экономическое значение имеют месторождения урана и меди. Минеральный состав урановых руд представлен урановыми слюдками (карнотит, отенит, торбернит, тюямунит), уранинитом, коффинитом, настураном, медных руд – халькозином, ковеллином, борнитом, халькопиритом, малахитом, азуритом.

Примеры месторождений: *Удоканское* (Cu – Иркутская область), *Алапаевское* (Fe – Средний Урал), *Сармановские рудники* (Cu – Татарстан), *Центральноафриканский меденосный пояс* (Замбия), *Ин-кай* (U – Казахстан), *Амброзия-Лэйк* (U – США).

6.2. Осадочная группа

Осадочные месторождения возникают в результате осаждения полезных компонентов на дне водоемов и постседиментационных преобразований пород (рис. 6.1в, г). Накопление полезных ископаемых контролируется многочисленными факторами, в том числе климатом, тектоникой, источниками сноса терригенного материала, биотой, а

также степенью преобразования отложений. Формирование месторождений может протекать в самых разных геодинамических обстановках.

Для осадочных месторождений характерны четкая стратиграфическая приуроченность. Рудные тела и залежи имеют, как правило, пластовую и линзовидную форму. Тектонические деформации могут приводить к возникновению тел более сложной формы.

В зависимости от способа осаждения полезных компонентов выделяют месторождения *механического, хемогенного и биохимического* классов.

Механический класс. Месторождения данного класса представлены *россыпями* – скоплениями рыхлого или сцементированного обломочного материала, содержащими в себе то или иное полезное ископаемое. Россыпи образуются за счет механической сортировки обломочного материала в водной среде и его отложения на гидродинамических барьерах. Минералы, накапливающиеся в россыпях, должны быть механически и химически устойчивыми, а также обладать большой плотностью. К таким минералам относятся золото, платина, алмаз, касситерит, рутил, циркон, монацит, вольфрамит, гранаты, киноварь и др. Источником ценных минералов могут быть как месторождения, так и рассеянная минерализация в породах.

В зависимости от происхождения различают элювиальные, делювиальные, пролювиальные, аллювиальные, литоральные (прибрежно-морские), золовые и гляциальные россыпи. С практической точки зрения наиболее значимы делювиальные, аллювиальные и прибрежно-морские россыпи. По условиям залегания россыпи делятся на открытые и погребенные. Формы россыпей весьма разнообразны (плащеобразные, пластовые, линзовидные, шнурковые и др.).

Наибольшее промышленное значение среди россыпных месторождений имеют месторождения золота, платины, алмазов, титана, циркония, олова, тория.

Примеры месторождений: *Ярегское* (Ti, Zr – Коми), *Лукояновское* (Ti, Zr – Центральная Россия), *Клондайк* (Au – Канада), *Малабарский берег* (РЗЭ, Th – Индия).

Химический класс. Месторождения данного класса образуются за счет химического осаждения полезных компонентов из водных растворов. В зависимости от формы нахождения растворенных компонентов различают *истинные* и *коллоидные растворы*. Кристаллизация соединений из истинных растворов происходит в результате их перенасыщения, а из коллоидных – в результате коагуляции.

С кристаллизацией из истинных растворов связано формирование месторождений галита, сильвина, гипса, ангидрита, карналлита, бишофита, мирабилита, барита, боратов, брома, лития. Накопление полезных ископаемых происходит в условиях жаркого и сухого климата в изолированных мелководных водоемах, где испарение воды преобладает над ее поступлением.

Из коллоидных растворов осаждаются руды железа, марганца, алюминия и другие соединения. Формирование коллоидных растворов связано с процессами континентального выветривания. Металлы, перешедшие в состав коллоидных растворов, транспортируются реками и осаждаются в прибрежной зоне морей и озер в результате коагуляции. В распределении рудных компонентов существует зональность, обусловленная их различной геохимической подвижностью: ближе к берегу осаждается алюминий, затем – железо, на еще большем удалении – марганец.

Примеры месторождений: *Верхнекамское* (калийно-магниевые соли – Пермский край), *Сюкеевское* (гипс – Татарстан), *Тихвинское* (Al – Ленинградская область), *Мертвое море* (калийные соли, бром – Израиль), *Салар-де-Атакама* (Li – Чили), *плато Клиппертон* (Fe, Mn – Тихий океан).

Биохимический класс. Формирование месторождение биохимического класса связано с жизнедеятельностью живых организмов. Полезные ископаемые формируются за счет накопления скелетных остатков, тканей животных и растений, а также в результате различных биохимических процессов (фотосинтез, сульфат-редукция и др.).

К биохимическому классу относятся месторождения *карбонатных пород*, сложенных скелетными остатками морских организмов,

кремнистых пород, сложенных скелетами диатомей, радиолярий и спикулами губок, *фосфоритов*. Сюда же относятся месторождения горючих ископаемых (*каустобиолитов*) – нефти, природного газа, газоконденсата, торфа, углей, горючих сланцев.

Примеры месторождений: *Инзенское* (диатомиты – Ульяновская область), *Егорьевское* (фосфориты – Подмосковье), *Каширское* (горючие сланцы – Самарская область).

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Для выполнения практических заданий используется учебная коллекция полезных ископаемых кафедры региональной геологии и полезных ископаемых ИГиНГТ. Образцы в учебной коллекции характеризуют все генетические типы месторождений полезных ископаемых, рассматриваемые в рамках практических занятий.

Задание № 1

Выполнить описание структуры и текстуры руды. Необходимые сведения о структурах и текстурах руд приведены в разделе 2 настоящего учебно-методического пособия, а также в учебных пособиях из списка рекомендованной литературы.

Задание № 2

Выполнить макроскопическое описание образца полезного ископаемого месторождения магматической группы эндогенной серии, используя схему описания из Приложения 1.

Задание № 3

Выполнить макроскопическое описание образца полезного ископаемого месторождения пегматитовой группы эндогенной серии, используя схему описания из Приложения 1.

Задание № 4

Выполнить макроскопическое описание образца полезного ископаемого месторождения скарновой группы эндогенной серии, используя схему описания из Приложения 1.

Задание № 5

Выполнить макроскопическое описание образца полезного ископаемого месторождения альбитит-грейзеновой группы эндогенной серии, используя схему описания из Приложения 1.

Задание № 6

Выполнить макроскопическое описание образца полезного ископаемого месторождения гидротермальной группы эндогенной серии, используя схему описания из Приложения 1.

Задание № 7

Выполнить макроскопическое описание образца полезного ископаемого месторождения метаморфогенной серии, используя схему описания из Приложения 1.

Задание № 8

Выполнить макроскопическое описание образца полезного ископаемого месторождения экзогенной серии, используя схему описания из Приложения 1.

ЛИТЕРАТУРА

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.

Бортников Н.С. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов в России: состояние и перспективы развития / Н.С. Бортников, А.В. Волков, А.Л. Галямов, И.В. Викентьев, В.В. Аристов, А.В. Лаломов, К.Ю. Мурашов // Геология рудных месторождения. – 2016. – Т. 58. – № 2. – С. 97–119.

Геологический словарь: в 3 т. / С.И. Андреев, Б.П. Арсеньев, А.М. Ахмедов [и др.]; гл. ред. О.В. Петров. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2011. – Т. 2: К–П. – 480 с.

Ибламинов Р.Г. Геология месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие / Р.Г. Ибламинов. – Пермь, 2019. – 232 с.

Исаенко М.П. Определитель текстур и структур руд. – М.: Недра, 1983. – 261 с.

Пеньков И.Н. Вещественный состав руд, их строение и минеральные парагенезисы: метод. пособие к лабораторным занятиям по курсу «Геология месторождений полезных ископаемых» для специальности 011100 / И.Н. Пеньков. – Казань: Изд-во КГУ, 2002. – 19 с.

Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. – М.: Недра, 1982. – 668 с.

Castroviejo R. A practical guide to ore microscopy / R. Castroviejo. – Springer, 2023. – Vol. 1: Mineral identification. – 951 p.

Приложение 1. План макроскопического описания образца полезного ископаемого на практическом занятии

1. Номер образца

2. Минеральный состав. Укажите видимые невооруженным глазом минералы в порядке уменьшения их содержания в образце. Для каждого из минералов укажите химическую формулу или принадлежность к классу минералов, а также признаки, по которым проведена диагностика. По возможности, определите вмещающую породу.

3. Текстура руды. Укажите текстуру руды и сопроводите ее зарисовкой.

4. Структура руды. Укажите структуру руды и сопроводите ее зарисовкой. Если структура неразличима невооруженным глазом, то она определяется по микрофотографиям аншлифов, сопровождающим образец.

5. Название образца. Для *рудных полезных ископаемых* укажите название руды по преобладающему рудному минералу (например, магнетитовая руда). Если в образце присутствуют несколько рудных минералов, они указываются в названии в порядке увеличения их содержания (например, сфалерит-галенитовая руда). По возможности укажите вмещающий минерал/породу (титаномагнетитовая руда в габбро, сфалерит-галенитовая руда в кварце).

Для *нерудных полезных ископаемых* укажите название породы или минерала с необходимыми уточнениями (мрамор, мусковит, глина монтмориллонитовая).

6. Происхождение. Исходя из минерального состава и структурно-текстурных особенностей, определите генетический тип месторождения (серия, группа, если возможно – класс).

7. Экономическое значение. Укажите области применения полезного ископаемого.

Приложение 2. Области применения металлических полезных ископаемых

Металл	Области промышленного применения
Железо	Основной компонент стали и чугуна
Марганец	Легирующая добавка в сталях повышенной прочности; химическая промышленность
Хром	Легирующая добавка в нержавеющей сталях; компонент сплавов
Алюминий	Легкий конструкционный материал; упаковка
Титан	Легирующая добавка в сталях; конструкционный материал в авиакосмической промышленности; лакокрасочная промышленность
Магний	Компонент легких и сверхлегких сплавов; пиротехника
Медь	Электротехника; компонент сплавов (бронза, латунь)
Цинк	Цинкование металлических изделий; химическая промышленность
Свинец	Производство аккумуляторов; компонент сплавов; боеприпасы
Олово	Жестяные изделия; компонент сплавов (бронза, пьютер, баббит)
Никель	Компонент нержавеющей стали и других сплавов (мельхиор, нихром, константан и др.); производство аккумуляторов; катализаторы
Кобальт	Производство аккумуляторов; легирующая добавка в сталях; компонент сплавов (стеллит); катализаторы
Мышьяк	Компонент сплавов; полупроводниковая промышленность; ядохимикаты
Сурьма	Компонент сплавов и огнестойких материалов; производство аккумуляторов; полупроводниковая промышленность
Ртуть	Производство хлора; термометры; люминесцентные лампы; добыча золота и серебра (амальгамирование); пестициды

Металл	Области промышленного применения
Молибден	Компонент тугоплавких сплавов; минеральные смазки
Вольфрам	Компонент тугоплавких и твердых сплавов, композитных материалов (победит)
Висмут	Электроника; легирующая добавка в сталях; компонент сплавов (сплав Вуда)
Золото	Ювелирное дело; электроника; слитки
Серебро	Ювелирное дело; электротехника и электроника; химическая промышленность
Платина	Ювелирное дело; катализаторы; жаропрочная посуда; слитки
Литий	Производство аккумуляторов, керамики, стекла
Бериллий	Компонент сплавов (бериллиевая бронза); ядерная энергетика
Тантал	Производство конденсаторов; электроника, полупроводниковая промышленность; компонент жаропрочных и сверхтвердых сплавов
Ниобий	Легирующая добавка в сталях; компонент суперсплавов; производство конденсаторов
Цирконий	Легирующая добавка в сталях; конструкционный материал в ядерной энергетике
Редкоземельные металлы	Компоненты магнитных сплавов (Nd, Pr); катализаторы в нефтехимической промышленности (La); полирующие материалы (Ce); специальные стекла; легирующие добавки в сталях; люминофоры; лазеры
Уран	Ядерное топливо; боеприпасы

Приложение 3. Предлагаемые темы рефератов по курсу

1. Методы исследования руд
2. Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых
3. Карбонатитовые месторождения: геологическое строение, условия образования, полезные ископаемые
4. Негранитные пегматиты: вещественный состав, условия образования, полезные ископаемые
5. Россыпные месторождения: классификация, строение, полезные ископаемые
6. Месторождения Норильского рудного района: геологическое строение, типы руд, модели образования
7. Месторождение Бушвельд: геологическое строение, типы руд, модели образования
8. Месторождения апатит-нефелиновых руд Хибинского массива: геологическое строение и условия образования
9. Алмазоносные провинции мира
10. Месторождение Баян-Обо: геологическое строение, типы руд, модели образования
11. Железорудный бассейн Курской магнитной аномалии: геологическое строение, состав руд, модели образования
12. Месторождение Витватерсранд: геологическое строение и модели образования
13. Месторождение Карлин: геологическое строение, состав руд, модели образования
14. Литий: типы месторождений и руд, технологии извлечения, экономическая значимость
15. Редкоземельные металлы: типы месторождений и руд, технологии извлечения, экономическая значимость
16. Геолого-генетические типы месторождений золота
17. Геолого-генетические типы месторождений урана
18. Угли: компонентный состав, классификация, условия образования
19. Полезные ископаемые Луны
20. Техногенные месторождения полезных ископаемых

Учебное издание

Никашин Константин Игоревич

Сунгатуллин Рафаэль Харисович

Кадыров Раиль Илгизарович

ГЕОЛОГИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебно-методическое пособие к практическим занятиям

Подписано к использованию 30.09.2025.

Научная библиотека им. Н.И. Лобачевского