

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Учебно-методическое пособие для специалистов,
обучающихся по программе подготовки 21.05.02
Прикладная геология

Составители: Кориш Е.Х., Лебедев И.П., Савко К.А., Холина Н.В.

Воронеж, 2024

УДК 553 (075.8)

ББК 26.34

П814

Утверждено научно-методическим советом геологического факультета Воронежского государственного университета 05.09.2024, протокол № 1.

Рецензенты:

к.г.-м.н., доцент, заведующий кафедрой минералогии, петрографии и геохимии *А.Ю. Альбеков*; д.г.-м.н., доцент кафедры исторической геологии и палеонтологии *А.В. Крайнов*.

Промышленные типы месторождений полезных ископаемых : учебно-методическое пособие / сост. Кориш Е.Х., Лебедев И.П., Савко К.А., Холина Н.В.: ; Воронежский государственный университет. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2024. – 261 с.

Учебно-методическое пособие подготовлено на кафедре полезных ископаемых и недропользования геологического факультета Воронежского государственного университета.

Цель настоящего пособия - оказать учебно-методическую помощь в усвоении весьма обширной информации о промышленных типах многочисленных видов полезных ископаемых, используемых в современной промышленности, а также привести наиболее характерные примеры важнейших генетических типов металлических и неметаллических месторождений твердых полезных ископаемых.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 21.05.02 «Прикладная геология

ISBN

©. Кориш Е.Х., Лебедев И.П., Савко К.А., Холина Н.В.: © Воронежский государственный университет

© Оформление, оригинал-макет. Издательский дом ВГУ, 2024

Введение

К промышленным относятся генетические типы месторождений полезных ископаемых, добыча из которых в настоящее время занимает существенную долю в общем объеме годовой добычи данного вида минерального сырья (обычно более 1%) .

Успешное изучение промышленно-генетических (для краткости, промышленных) типов месторождений полезных ископаемых возможно после надлежащего усвоения первой части учения о геологии полезных ископаемых курса "Условия образования месторождений полезных ископаемых", важнейшим итогом изучения которой должно стать хорошее знание современной генетической классификации полезных ископаемых, характерных признаков и важнейших рудных минералов каждого генетического класса.

Для практического применения наиболее пригодна систематика минерального сырья, основанная на группировке месторождений по промышленным потребителям продукции горно-добывающих предприятий.

В настоящее время, согласно Инструкции по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации принята следующая промышленная систематика полезных ископаемых (табл. 1).

Таблица 1. Промышленная систематика полезных ископаемых

<u>Группа 1. Горючие ископаемые.</u> 1.1. – нефть и газ; 1.2. – твердые горючие ископаемые (угли, сланец горючий, торф).
<u>Группа 2. Металлические ископаемые.</u> 2.1. – черные металлы (Fe, Mn, Cr, Ti, V); 2.2. – цветные металлы (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, Mo, W, Sn, Al, Mg, Hg, As, Sb, Bi); 2.3. – редкие металлы (Li, Be, Cs, Ta, Nb, Zr и др.), рассеянные (Cd, Ge, Hf, Sc, Re, Ga, In, Tl, Se, Te, Rb и др.), TR _{Ce} – редкоземельные элементы - цериевая группа

Таблица 1. (Продолжение)

четные лантаноиды: Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Yb), TRУ- редкоземельные элементы- иттриевая группа (нечетные: Pr, Pm, Eu, Tb, Ho, Tm, Lu, а также Y). 2.4. – благородные металлы (Au, Ag, Pt, платиноиды: Ru, Rh, Pd, Os, Ir). 2.5. – радиоактивные элементы (U, Th).
<u>Группа 3. Неметаллические ископаемые.</u> 3.1. – оптические материалы (исландский шпат, кварц, флюорит); 3.2. – химическое сырье (пирит, сера, флюорит, барит, алунит, бораты, известняк и др.); 3.3. – минеральные удобрения: а) фосфатные (апатит, фосфорит, торфо-вивианит), б) калиевые, в) карбонатные (агрокарбонатные руды); 3.4. – керамическое и огнеупорное сырье (кварц и кварцевые пески, полевой шпат, пегматит керамический, каолин, глины огнеупорные и керамические, волластонит, дунит огнеупорный и др.); 3.5. – абразивные материалы (корунд и наждак, гранат, пемза, диатомит, трепел, опока, камни точильные и полировочные); 3.6. – горнотехническое сырье (асбест, мусковит, вермикулит, тальк, графит, магнезит, цеолиты); 3.7. – драгоценные и поделочные камни (алмазы, изумруды, бирюза, лазурит, малахит, агат, халцедоны, чароит и др.); 3.8. – строительные материалы: а) магматические породы, б) карбонатные породы, в) глинистые породы, г) обломочные породы; 3.9. – прочие ископаемые (глауконит, глины буровые, битум, мумие и др.).
<u>Группа 4. Соли (натровые, калиевые, сульфаты, селитры).</u>
<u>Группа 5. Подземные воды и лечебные грязи:</u> 5.1. – минеральные воды промышленные (бромные, йодные), 5.2. – минеральные воды лечебные (сероводородно-углекислые, метановые, радоновые и др.), 5.3. – термальные (теплоэнергетические) воды, 5.4. – питьевые воды (пресные, слабосоленоватые), 5.5. – грязи лечебные.

Обратите внимание: Различие между редкими и рассеянными элементами состоит в том, что **редкие элементы имеют свои собственные рудные**

минералы-концентраты (например, циркон, касситерит и др.), а **рассеянные химические элементы извлекаются попутно**, так как входят в кристаллические решетки не собственных рудных минералов в виде элементов – примесей (например, рений извлекается из молибденита).

Для целей прогнозирования, поисков и разведки месторождений необходимо знать генетические факторы их формирования. В генетической классификации принята следующая иерархия понятий: **Серия --- Группа - -- Класс ---- Подкласс --- Рудная формация ---- Месторождение.**

Напомним современную генетическую классификацию месторождений полезных ископаемых (табл.2).

Таблица 2. Генетическая классификация месторождений полезных ископаемых

Серия	Группа	Класс (подкласс)
Эндогенная	Магматическая	Ликвационный
		Раннемагматический
		Позднемагматический
	Карбонатитовая	Магматический
		Метасоматический
		Комбинированный
	Пегматитовая	Простые пегматиты
		Перекристаллизованные
		Метасоматически замещенные
		Десилицированные
	Скарновая	Известковые скарны
		Магнезиальные скарны
		Силикатные скарны
	Альбитит-грейзеновая	Альбититовый
		Грейзеновый
	Гидротермальная	Плутоногенный - гидротермальный
		Вулканогенный - гидротермальный
		Амагматогенный - стратиформный
		Метаморфогенно-гидротермальный

Таблица 2. (Продолжение)

	Колчеданная	Гидротермально-осадочный
		Гидротермально-метасоматический
		Комбинированный
Экзогенная	Выветривания	Остаточный
		Инфильтрационный
	Осадочная	Механически осадочные
		Химически осадочные
		Биохимически осадочные
		Вулканогенные осадочные
	Россыпей	Элювиальных россыпей
		Проллювиальных
		Аллювиальных (косовой, русловой, долинный, террасовый)
		Литоральных (океанический, морской, озерный)
Метаморфогенная	Метаморфизованных	Регионально-метаморфизованных
		Контактово-метаморфизованных
	Метаморфических	

В поисковых работах важными показателями промышленно значимых залежей полезных ископаемых являются кондиции - оптимальные содержания химического элемента и кларки концентрации в руде (табл. 3). Кларк концентрации определяется отношением кондиционного содержания металла в руде к его кларку в земной коре.

Примечание: Содержание 1 г/т = 0,0001% элемента. Номер элемента со-ответствует его номеру в Периодической таблице Д.И. Менделеева.

Таблица 3. Кондиции и кларки концентраций некоторых химических элементов в промышленных месторождениях полезных ископаемых

п/ п	№	Элемент	Кларк в земной коре	Кондиции руд в %	Кларк концентра- ции
1	2	3	4	5	6
1	3	Li - Литий	25 г/т (0,0025%)	0,33	130
2	4	Be - Бериллий	2	70 г/т	35
3	5	B - Бор	9	0.16	180
4	13	Al - Алюминий	8,07%	30	3,7
5	15	P - Фосфор	0,1%	1,3	130
6	16	S - Сера	0,033%	7	212
7	22	Ti - Титан	0,53%	30 (TiO ₂)	60
8	23	V - Ванадий	12 г/т	0,5 (V ₂ O ₅)	200
9	24	Cr - Хром	93 г/т	7-30	750-1200
10	25	Mn - Марганец	900 г/т	5-35	55-350
11	26	Fe - Железо	5,3 %	25-60	5-10
12	27	Co - Кобальт	23 г/т	0,02	9
13	28	Ni - Никель	70 г/т	0,5-1,0	200
14	29	Cu - Медь	53 г/т	0,5-2,0	200
15	30	Zn - Цинк	68 г/т	0,7-3,5	100-500
16	40	Zr - Цирконий	185 г/т	2	125
17	41	Nb - Ниобий	21 г/т	0,14	65
18	42	Mo - Молибден	1,2 г/т	0,08-0,3	3000
19	47	Ag - Серебро	0,073 г/т	0,05	5000-7000
20	50	Sn - Олово	2,3 г/т	0,1-1,0	250

Таблица 3. (Продолжение)

21	51	Sb - Сурьма	0,3 г/т	0,2	6000
22	55	Cs - Цезий	5 г/т	0,1	230
23	56	Ba - Барий	470 г/т	9,0	190
24	74	W - Вольфрам	1,4 г/т	0,4-1,0	6500
25	75	Re - Рений	0,7 мг/т	0,3% в <i>Mo</i>	>500
26	78	Pt - Платина	0,0057 г/т	2 г/т	350
27	79	Au - Золото	0,0035 г/т	5-10 г/т	1000-2000
28	80	Hg - Ртуть	0,072 г/т	0,05	6000
29	82	Pb - Свинец	13 г/т	0,3-2,5	230-2000
30	92	U - Уран	2,6 г/т	0,15	500

Потребности в минеральном сырье в настоящее время неуклонно возрастают во всем мире. На континентах выявлено несколько десятков тысяч месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых. Поиски и разведка уже вышли за пределы континентов на территории, занятые морями и океанами, что способствует выявлению новых видов и генетических типов полезных ископаемых, совершенствованию их генетической систематики как основы успешного прогнозирования, обнаружения и, в конечном итоге, прироста запасов необходимых видов полезных ископаемых.

В настоящем пособии приведены примеры только наиболее характерных генетических типов металлических и неметаллических месторождений, представляющих наиболее важный промышленный интерес. По каждому виду минерального сырья кратко приведены необходимые сведения в следующей последовательности:

1- история использования, 2- области применения, 3 - производство, запасы, ресурсы, 4 - геохимия, важнейшие рудные минералы, 5 - генетиче-

ские типы промышленных месторождений, 5 - примеры геологии месторождений ведущих генетических групп и классов.

Для получения более полной информации следует обращаться к публикациям, рекомендуемый список которых приведен в конце настоящего пособия.

Глава 1.

Генетические типы месторождений черных металлов

1.1. Месторождения железа

Начало применения железа относится к IV- III тысячелетию до н.э., когда люди из железных метеоритов делали орудия труда и охоты, украшения. На смену бронзовому веку в I тысячелетии до н.э. пришел век железа когда люди научились выплавлять металл из руд. Бурые железняки начали плавить на древесном угле, а с XIX в. - на каменном угле и коксе. Из чугуна научились выплавлять сталь, а в XX в. - высококачественные легированные стали.

Огромные запасы железных руд, разработанные способы получения в больших количествах чугуна и стали, способность принимать любые формы в процессе металлообработки обеспечили их широкое применение во всех отраслях хозяйственной деятельности.

Мировое производство товарных железных руд в настоящее время превышает 1 млрд.т. Общие запасы железных руд оцениваются в 300 млрд. т. Добыча железных руд ведется в 55 странах, наибольшая добыча ведется в Бразилии, в России, Китае, США, Канаде, Австралии и ЮАР.

Среднее содержание железа в земной коре равно 4,65 % масс. Кларк концентрации железа в промышленных рудах низкий – около 10 (табл 3).

Известно более 300 минералов железа. Промышленное значение имеют магнетит FeFe_2O_4 , мартит и гематит Fe_2O_3 , гидроксиды железа – ге-

тит $\text{FeO}(\text{OH})$ и гидрогетит $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot \text{H}_2\text{O}$, сидерит $\text{Fe}[\text{CO}]_3$, и сидероплезит Mg,FeCO_3 , силикаты железа – шамозит и тюрингит.

Генетические типы промышленных месторождений железных руд разнообразны. Они известны среди образований всех генетических серий. Из них выделяют: магматические, карбонатитовые, скарновые, метаморфизованные, вулканогенно-гидротермальные, вулканогенно-осадочные, кор выветривания (остаточные), осадочные, инфильтрационные.

Магматические (позднемагматические) месторождения титаномagnetитовой, перовскит-титаномagnetитовой и апатит-магнетитовой формаций.

Титаномagnetитовые месторождения связаны с основными и ультраосновными породами габбровой, габбро-диабазовой, габбро-анортозитовой и габбро-пироксенит-дунитовой формаций.

Рудные тела имеют форму жиллообразных залежей и зон концентрированной вкрапленности. Основным рудным минералом является титаномagnetит со структурой распада твердого раствора, присутствуют magnetит, ильменит, шпинель. Руды характеризуются промышленным содержанием железа, ванадия и титана. Содержание железа низкое, но руды относятся к природнолегированным. Промышленное значение месторождений второстепенное, так как запасы руд невелики.

Месторождения известны на Урале (Качканарское, Гусевогорское, Первоуральское и др.), Горном Алтае, в Читинской области (Чинейский массив), за рубежом – в США, Норвегии, Швеции и др.

Перовскит-титаномagnetитовые месторождения связаны с щелочноультраосновными интрузиями; главное промышленное значение в них имеют редкие и редкоземельные элементы, железо является побочным компонентом.

Апатит-магнетитовые месторождения связаны либо с ультрабазами со слабым развитием карбонатитов (месторождения Кольского полуострова) или с сиенито-диоритами Северошведской группы месторождений. Форма рудных тел жиллообразная. Минеральный состав руд: апатит и магнетит. Содержание железа высокое, но одновременно отмечаются повышенные концентрации фосфора. Тип месторождений – редкий, промышленное значение второстепенное.

Карбонатитовые месторождения связаны с щелочно- ультраосновными интрузиями. Железорудные тела в таких массивах представляют в основном апатит-форстеритовые породы с обильной вкрапленностью, жилами и прожилками магнетита, неравномерной вкрапленностью пирохлора и бадделиита. Месторождения известны на Балтийском щите (Африканда, Ковдор), на Сибирской платформе (Гулинский массив), за рубежом на Африканской платформе (Уганде, Зимбабве, ЮАР, месторождение Палабор). Месторождения имеют второстепенное значение, так как являются редкими.

Скарновые месторождения, формация железорудных скарнов, связаны с гранитоидными интрузиями. Они подразделяются на известковые и магнезиальные. В составе первых отмечаются следующие минералы – пироксены, гранаты андрадит-гроссулярового типа, эпидот, актинолит, везувиан, хлорит; в магнезиальных характерно развитие магнезиальных силикатов – форстерита, шпинели, флогопита, серпентина. Железорудные минералы – магнетит, мартит, гематит; кроме этого в составе руд встречаются кобальтсодержащий пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит и др.

Формы рудных тел чрезвычайно разнообразны – неправильные, жиллообразные, пластообразные и др.

В рудах скарново-магнетитовых месторождений часто присутствуют примесь кобальта, иногда бора, меди, цинка.

Скарново-железорудные месторождения в России очень многочисленны. Они известны на Урале (Магнитогорское, Высокогорское, Лебяжинское, Гороблагодатское и др.), Алтае-Саянской области (Таштагольское и др.), Горной Шории (Шерегешское), Южной Якутии (Таежное, Пионерское), на Дальнем Востоке (Гаринское), за рубежом месторождения США, Болгарии, Румынии и ряд других.

Гидротермальные (вулканогенные) месторождения парагенетически связаны с траппами. Распределение месторождений тесно связано с расположением зон разломов. Форма рудных тел – жильно-метасоматическая. Рудный минерал – магнетит содержит примеси магнезия и относится к магнезитомагнетиту. Качество руд довольно высокое и запасы – сотни млн. т, но данный тип месторождений редок. Месторождения известны на Сибирской платформе. Наиболее крупные и разведанные месторождения этой группы – Коршуновское, Рудногорское, Нерюндинское и Тагарское.

Осадочные месторождения подразделяются на морские и континентальные. Морские месторождения (сидерит-лептохлорит-гидрогетитовая формация) образуются в прибрежной зоне морских водоемов, залегают среди карбонатно-терригенных отложений. Пологозалегающие рудные пласты и линзы имеют мощности от первых метров до первых десятков метров. Руды сложены в основном оолитами различных размеров гидрогетитового, лептохлоритового или сидеритового состава, обломками оолитов и песчано-глинистого материала, сцементированных теми же минералами, которые образуют и оолиты. Наблюдается характерное изменение минерального состава от береговой линии в сторону моря: гидрогетит постепенно уступает место лептохлоритам. На некоторых месторождениях наблюдается более поздняя сидеритизация гидрогетитовых и лептохлоритовых руд.

Этот тип месторождений представлен Западно-Сибирским бассейном в России, Аятским в Казахстане, Керченским на Украине (рис.1.1). За рубе-

жом месторождения данной формации представлены Лотарингским бассейном (Франция, Германия, Бельгия и Люксембург), к ним относятся также месторождения Китая, Великобритании.

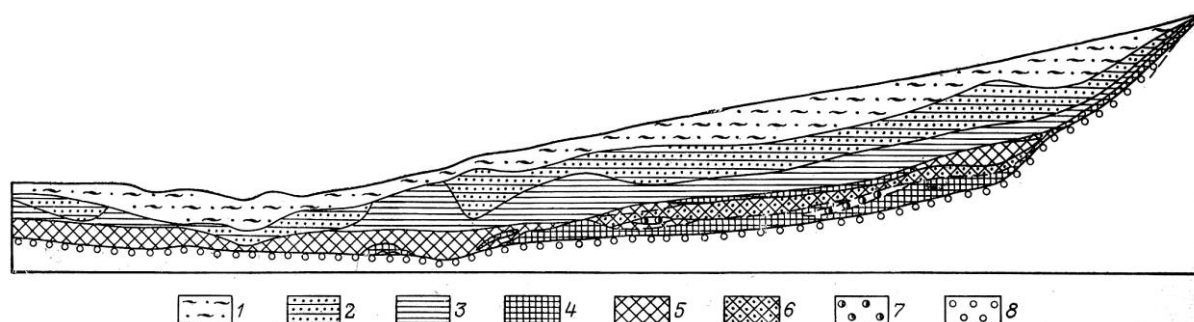


Рис.1.1. Геологический разрез Камыш-Бурунской мульды, по Ю. Юрку, Е. Шнюкову, Ю. Лебедеву и О. Кириченко: 1 - известковые суглинки; 2 - глины песчанистые; 3 - глины; 4-6 железные руды (4 - «табачные», 5 - «коричневые», 6 - «икряные»; 7 - глины песчанистые; 8 - ракушечники глинистые в кровле сидеритизированные.

Континентальные месторождения представлены большим числом мелких месторождений. Руды сложены скоплениями гидрогетитовых жеод и оолитов в песчано-глинистых озерно-болотных отложениях. Руды этого типа известны в Тульской и Липецкой областях. Они характеризуются низкими содержаниями железа и в настоящее время практически утратили промышленное значение. Исключением является Лисаковское месторождение в Кустанайской области, связанное с русловыми пойменными отложениями олигоценовых палеорек. Рудные залежи вытянуты на десятки километров вдоль русла, имеют линзовидную и неправильную формы. В составе руд гидрогетит, лептохлориты, сидерит, кварц, глинистые минералы, марказит, гипс. Руды оолитовые.

Вулканогенно осадочные располагаются среди вулканогенных фаций вулканогенно-осадочных формаций. Рудные пласты залегают среди туфов и туффитов с наличием прослоев и линз вулканических пород, присутствием в составе руд пирокластических частиц. В Западно-Каражальском место-

рождении вмещающими породами служат переслаивающиеся известняки, кремнисто-карбонатные яшмовидные и аргиллитовые породы, а подстилается эта толща типично вулканогенно-осадочными формациями. Рудные пласты и линзы залегают согласно с вмещающими породами. Руды сложены гематитом, в меньшей степени гематитом и сидеритом, встречаются сульфиды.

Промышленное значение этой группы месторождений невелико. Примеры – Западный Каражал (Казахстан), Холзунское (Россия), Лан и Дилль в Германии.

Месторождения коры выветривания (остаточные) образуются при выветривании ультраосновных пород: серпентинизированных дунитовых и перидотитовых массивов. Железные руды коры выветривания ультрабазитов состоят в основном из гидрогетита и примесей: халцедона, опала, нонтронита, железистых хлоритов, магнезита. Они содержат примеси хрома, никеля и кобальта и относятся к природнолегированным образованиям. Примером подобных месторождений являются Елизаветинское, Аккермановское на Урале. За рубежом крупные месторождения железных руд кор выветривания известны на Кубе, Филиппинах, Гвинее, Гвиане и Суринаме. К метаморфогенной серии относятся залежи метаморфизованных железистых кварцитов.

Осадочно-метаморфизованные месторождения железистых кварцитов залегают в метаморфизованных осадочных комплексах докембрийских кристаллических щитов, складчатых фундаментов древних платформ. В подавляющей части железистые кварциты являются первично морскими хемогенными осадками, залегают среди терригенных и вулканогенно-осадочных вмещающих комплексов. Форма рудных залежей – пластообразная. Главные минералы – кварц, магнетит, гематит, куммингтонит, биотит, хлорит, иногда щелочные амфиболы. Структура преимущественно тонко-

зернистая и мелкозернистая. Текстура полосчатая, плейчатая. Метаморфизм фации зеленых сланцев. В более глубоко измененных месторождениях амфиболитовой фации метаморфизма главные минералы – кварц, магнетит, гематит, роговая обманка, диопсид, геденбергит, гранат. Структура среднезернистая, текстура неясно полосчатая. Наиболее глубоко метаморфизованные месторождения гранулитовой фации архейского возраста имеют крупнозернистую структуру, неясно полосчатую текстуру. В составе железистых кварцитов – кварц, магнетит, гиперстен, актинолит, тальк, куммингтонит, гранат.

Месторождения железистых кварцитов относятся к крупнейшим, характеризуются запасами руды в миллиарды и десятки миллиардов тонн. Среднее содержание железа 20-40%, чаще всего 32-37%, они бедны фосфором и серой, при преобладании среди рудных минералов магнетита хорошо обогащаются.

В России железистые кварциты сосредоточены на Кольском полуострове и в Карелии (Оленегорское, Кировогорское, Костомукшское месторождения и др.), в бассейне Курской магнитной аномалии (Коробковское, Лебединское, Стойленское – рис. 1.2, Михайловское и др.), на Южном Урале (Тараташское), в Читинской области и республике Саха (Чаратоккинское), на Дальнем Востоке (Мало-Хинганская группа), на Украине (Криворожско-Кременчугский бассейн). За рубежом широко известны крупные районы распространения кварцитов в Канаде, США, Индии, ЮАР, Австралии, Китае и других странах.

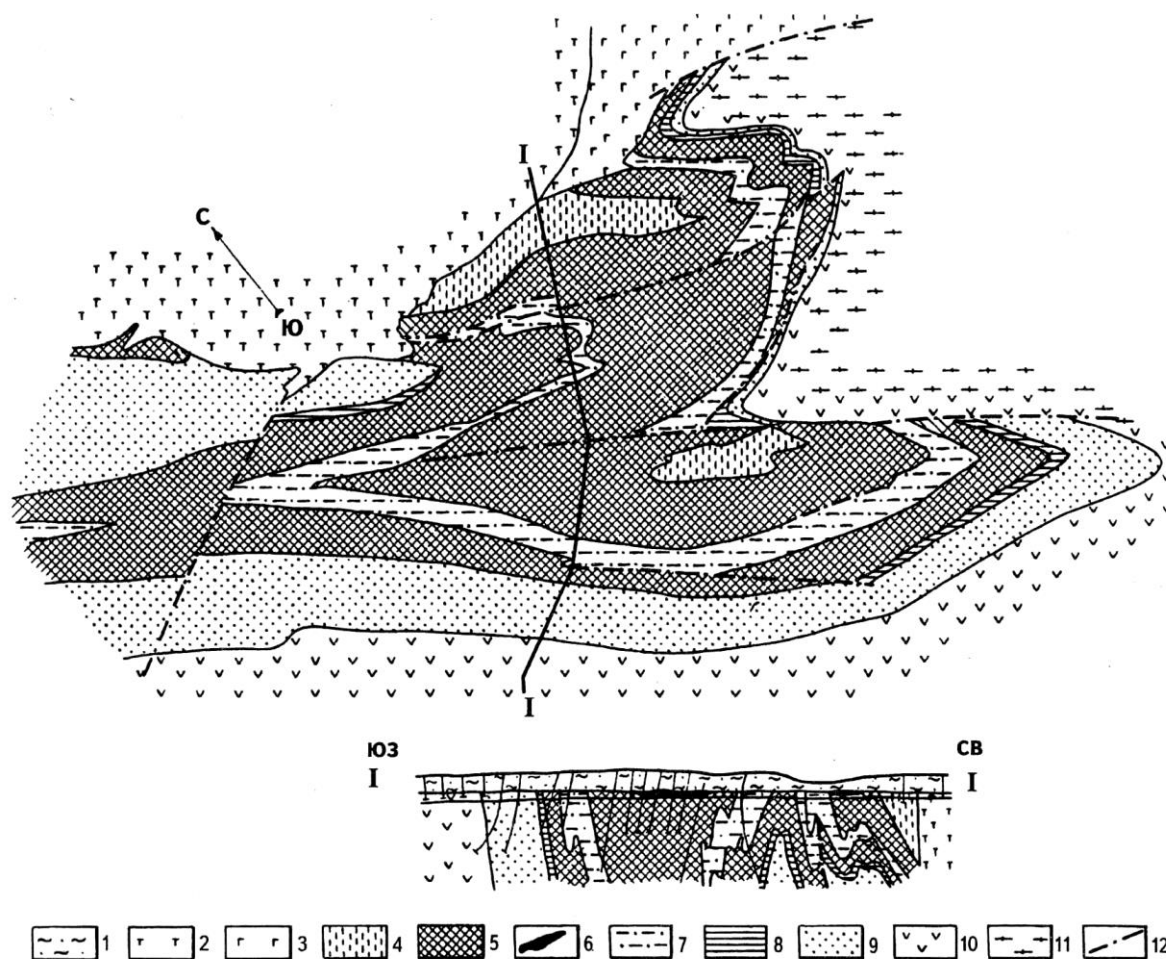


Рис. 1.2. Схема геологического строения Стойленского месторождения (по Н.Голивкину): 1 - песчано-глинистые и карбонатные отложения девонско-четвертичного возраста; 2 - диориты и кварцевые диориты; 3 - габбро-диориты; 4-8 - породы курской серии (4 - сланцы верхней свиты, 5 - железистые кварциты средней свиты, 6 - сланцы средней свиты, 7 - сланцы нижней свиты, 8 - метапесчаники и конгломераты нижней свиты); 9 - кварцевые порфиры, сланцы и амфиболиты михайловской серии; 10 - гнейсы и мигматиты архея; 11 - богатые железные руды (на разрезе); 12 - тектонические нарушения.

Богатые железные руды представляют продукт природного обогащения железистых кварцитов, образующиеся при процессах древнего выветривания. Выделяются два морфологических типа залежей – плащеобразные и линейные. Плащеобразные залегают на головах крутопадающих железистых кварцитов, имеют значительную площадь, карманообразную подошву

и относятся к типичным корам выветривания. Линейные возникли в зонах разломов, трещиноватости, смятия, дробления.

В минеральном составе богатых руд участвуют мартит, мартитизированный магнетит, гетит и гидрогетит, глинистые минералы. Руды характеризуются высоким содержанием железа 54-69% и низкими содержаниями серы и фосфора.

Месторождение «Гора Магнитная». Рудная формация магнетитовая известково-скарновая. Месторождение находится на восточном склоне южной части Уральского хребта. Оно приурочено к приконтактовой зоне гранитоидной интрузии (рис. 1.3.) сложного состава, прорвавшей осадочно-эффузивную толщу нижнего карбона, состоящую из известняков, порфиритов и их туфов. Месторождение образовано двумя пластообразными залежами – Западной и Восточной, разбитыми системой пострудных сбросов и пронизанными множеством дорудных даек. В настоящее время месторождение практически выработано.

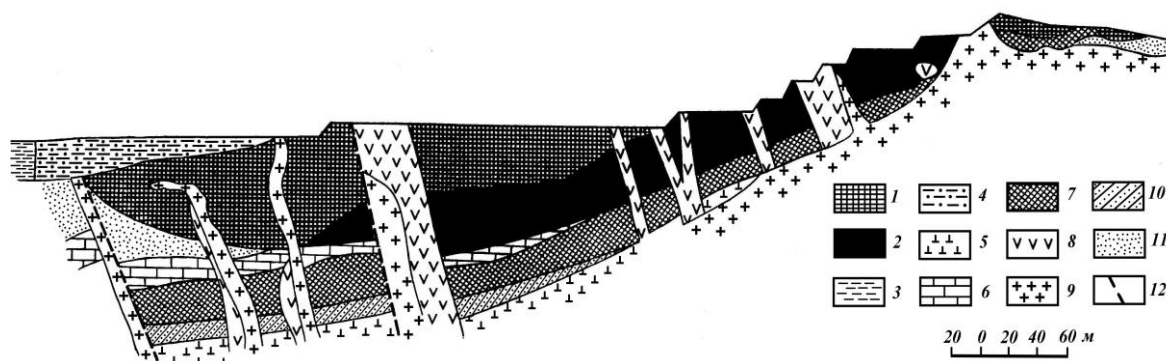


Рис. 1.3. Разрез по борту горы Магнитной. По Г. Брауну.

Руды: 1 – окисленные, 2 – первичные; делювий: 3 – безрудный, 4 – рудный; 5 – порфириты; 6 – известняки и мрамор; 7 – скарны; 8 – диориты; 9 – граниты, микрограниты, кератофиры; 10 – атачиты; 11 – наносы; 12 – линии сбросов.

Коршуновское месторождение формации магнетитовых скарнов находится близ г. Железногорска Иркутской области, входит в Ангаро-

Илимский рудный узел в бассейне р. Илим, правого притока р. Ангары. Комплекс осадочных песчано-глинистых и карбонатных отложений нижнего палеозоя и туфогенно-осадочных пород верхнего палеозоя, составляющий чехол Сибирской платформы, прорван интрузиями габбро-диабазов, диабазов и диабазовых порфиритов формации сибирских траппов.

Скарновое месторождение железных руд локализовано в трубке взрыва, заполненной эксплозивной брекчией туфогенных пород.

Главным скарновым минералом является диопсид, в меньшей степени развит гранат. Гранат-пироксеновые скарны и брекчированные породы сильно хлоритизированы, серпентинизированы, карбонатизированы, орого-викованы и содержат скопления магнетита, гематита и маггемита.

Морфология рудных тел сложная. Выделяются пластообразные тела магнетитовых руд, залегающие согласно с вмещающими породами нижнего палеозоя, штоко- линзо- столбообразные и пластовые рудные тела в скарнированных пирокластических породах, и крутопадающие жилы сплошного магнетита. В совокупности все эти рудные тела образуют крупную залежь, морфология которой в существенной степени определяется формой трубки взрыва.

Текстуры руд брекчевидные и вкрапленные; массивные и полосчатые имеют ограниченное распространение. Главный рудный минерал магномагнетит, содержащий до 6% MgO. Коршуновское месторождение разрабатывается карьером. Суммарные запасы составляют более 400 млн. т.

Характерной особенностью месторождений Ангаро-Илимской группы, к которым относится Коршуновское месторождение, является присутствие в нижних горизонтах отложений палеозойского осадочного чехла Сибирской платформы галогенных отложений, включая пласты каменной соли. Взаимодействие трапповой магмы с галогенными породами способствовало процессу рудообразования благодаря высокой транспортирующей

роли хлора при извлечении и концентрации железа в оксидных минералах.

1.2. Месторождения марганца

Марганцевые руды использовались с конца XVIII в. для изготовления красок и медицинских препаратов. В черной металлургии марганцевые руды начали широко применяться со второй половины XIX в. Добавка марганца повышает вязкость стали, ее твердость и ковкость, способствует переходу в шлак многих вредных примесей. В небольших количествах марганец используется в электротехнической, химической керамической промышленности и в медицине.

Мировая добыча составляет более 20 млн. т. в год.

Общие мировые запасы марганца в 56 странах около 106 млрд. т, в том числе половина из них – подтвержденные. Наиболее богата марганцевыми рудами Африка (район Калахари и месторождение Моанда в Габоне), значительная часть запасов заключена в рудах Никопольского месторождения на Украине, далее идут Австралия, Бразилия, Казахстан, Китай и Грузия.

В России крупных месторождений нет. Всего известно 15 месторождений, Среди известных месторождений преобладает карбонатный тип (месторождения Полуночное, Ивдельское на Урале, Усинское в Западной Сибири, Порожнинское в Красноярском крае). Начата разработка Тыньинского месторождения на Урале и Громового в Читинской области, подготовлены к разработке Парнокское месторождение в республике Коми, Ивдельское и Марсятское на Урале. В ближайшее десятилетие планируется добыча марганца на двух гайотах Тихого океана в западном секторе севера приэкваториальной зоны - Магеллановые горы.

Кларк марганца 0,1%. Повышенное содержание наблюдается в ультраосновных и основных породах.

Марганец обладает двумя устойчивыми валентностями: Mn^{2+} и Mn^{4+} .

Кондиционное содержание для легкообогатимых руд определяется в 10%, для труднообогатимых руд более 20% марганца. В металлургии используются руды с содержанием марганца 30-36% и менее 0,2% фосфора.

Известно более 150 минералов марганца. Промышленными являются пиролюзит MnO_2 , манганит $MnO(OH)$, псиломелан $BaMn^2Mn^4_9O_{20} \cdot 3H_2O$, браунит $Mn^2Mn^3_6SiO_{12}$, гаусманит $MnMn_2O_4$, родохрозит $Mn[CO_3]$, манганокальцит $Ca,Mn[CO_3]_2$.

Генетические типы промышленных месторождений: осадочные, вулканогенно-осадочные, выветривания (остаточные), метаморфогенные. Главное промышленное значение имеют осадочные и остаточные месторождения.

Осадочные (хемогенно-осадочные и вулканогенно-осадочные) составляют 92,5% запасов руд.

Хемогенно-осадочные месторождения залегают среди морских отложений олигоценового возраста. Форма рудных тел пластовая. В фациальном профиле месторождений выделяются три рудные зоны: оксидных, смешанных (оксидно-карбонатных) и карбонатных руд.

Оксидные руды сложены пиролюзитом, псиломеланом, манганитом; карбонатные – преимущественно манганокальцитом, в незначительном количестве родохрозитом. Вмещающие породы – монтмориллонитовые глины с примесью песка и алевролита. Текстуры – конкреционные, ноздреватые, сажистые.

К этому типу месторождений относится Никопольский бассейн на Украине (рис. 1.4); Чиатурское в Грузии; Полуночное, Ивдельское, Усинское в Восточных Саянах России; Мангышлакское в Казахстане.

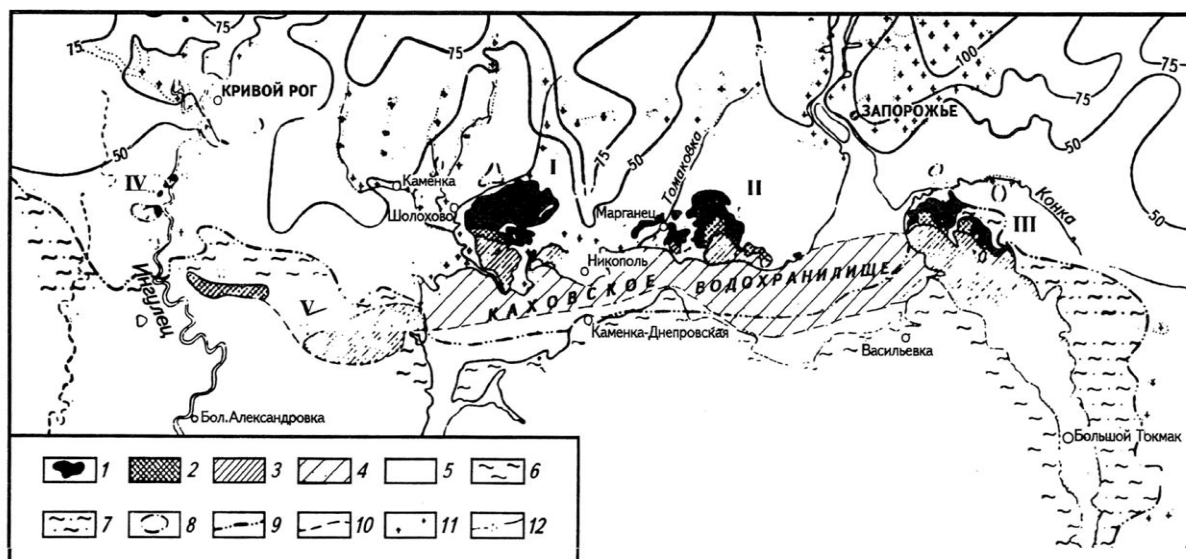


Рис. 1.4. Схема размещения марганцеворудных площадей в Никопольском бассейне (по В.Грязнову): 1-3-марганцевые руды: 1 - оксидные, 2 - оксидно-карбонатные (смешанные), 3 - карбонатные; 4 - площадь, на которой карбонатные руды полностью или частично размывы в четвертичное время; 5 - пойма Днепра, ныне Каховское водохранилище; 6 - глины олигоцена; 7 - песчанистые глины олигоцена; 8 - "островки" олигоценовых отложений; 9 - северная граница олигоценовых отложений; 10 - южная предполагаемая граница накопления карбонатных руд; 11 - выходы кристаллических пород на поверхность и под четвертичные отложения; 12 - изогипсы поверхности докембрийских пород. Рудоносные площади: I - Западно-Никопольская, II - Восточно-Никопольская, III- Больше-Токмакская, IV- Ингулецкая, V - междуречье Днепр-Ингулец.

Вулканоогенно-осадочные месторождения (формация браунит-гаусманитовая) приурочены к областям интенсивного проявления подводного вулканизма, характеризующимся накоплением лав и туфов с подчиненным количеством осадочных пород. Для месторождений установлена отчетливая связь с кремнистыми (яшмы, туфы), карбонатными (известняки, доломиты) и железистыми (магнетит, гематит) породами и рудами. Источником Mn, Fe и других компонентов являлись поствулканические подводные эксгаляции и гидротермы. Месторождения располагаются как у очагов вулканической деятельности, так и в удалении от них среди пирокластиче-

ских пород. Месторождения характеризуются браунит-гаусманитовым составом. Залежи имеют пластообразную форму, мощность 1-10м. Содержание Mn – 40-55%, P – 0,03-0,06%. Месторождения, как правило, по запасам небольшие. Они известны на Урале, Горном Алтае, в Кузнецком Алатау.

Месторождения выветривания образуются главным образом по марганецсодержащим метаморфизованным породам. Форма рудных тел плащеобразная. Рудные залежи сложены пиролюзитом и псиломеланом. Глубина распространения руд – 10-70 м. Залежи прослеживаются по простиранию от сотен метров до 10 км. Содержание Mn 30-50%, P обычно до 0,2%, иногда до 2%. Месторождения распространены главным образом в Индии и Бразилии, а также в Канаде, Габоне, Гане, ЮАР и Австралии

Метаморфогенные месторождения. Месторождения этой серии представлены группой метаморфизованных месторождений, на долю которых приходится 5% мировых запасов руд.

Метаморфизованные марганцевые месторождения связаны с марганецсодержащими протерозойскими силикатными породами – гондитами и кондуритами. Гондиты сложены кварцем, спессартином, браунитом, гаусманитом и родонитом. Кондуриты состоят из калиевого полевого шпата, спессартина и апатита. Они переслаиваются с мраморами, кварцитами и сланцами. Протяженность рудных залежей до 3-8 км, мощность – 3-60 м, среднее содержание Mn 10-20%. Наиболее крупные месторождения отмечены в Индии и Бразилии. В настоящее время разрабатываются наиболее мощные рудные тела окисленных марганцевых руд зоны окисления; гондиты и кондуриты не разрабатываются.

Особый генетический тип (нептунический) представляют океанические конкреции и корки. Основная часть их находится в Тихом океане. Запасы – 3,5 трл. т, запасы ежегодно возрастают на 10 млн. т. Конкреции и рудные корки обнаружены в пелагической области практически повсемест-

но как на дне котловин, так и на склонах поднятий. Мощность их изменяется от нескольких миллиметров до 10-15 см. Наиболее распространены конкреции размером 3-7 см в поперечнике. Морфологические типы конкреций – сферические, эллипсоидные, лепешковидные, плитчатые, желвакообразные, гроздевидные. Текстуры – скорлуповато-слоистые, оолитовые, колломорфные. Главные рудные минералы – вернадит и гидрогетит, реже встречаются другие гидроксиды и оксиды Mn и Fe. Содержание Mn 25-20%, Fe 10-15%, Ni 1-2%, Co 0,3-1,5%, Cu 1-1,5%.

1.3. Месторождения хрома

Хромитовые руды были впервые выявлены на Урале в 1799 году. В начале XIX в. они использовались в качестве огнеупорного материала для футуровки металлургических печей, получения красок и дубителей кожи. В конце XIX в. хром начал широко использоваться в качестве легирующего металла.

В настоящее время основным потребителем хромитовых руд является металлургическая промышленность (65%), остальные используются в огнеупорной и химической промышленности.

Хром необходим для производства нержавеющей, жаропрочных, кислотоупорных, инструментальных и других видов сталей. Сплавы хрома с кобальтом, вольфрамом или молибденом используются в качестве антикоррозионных покрытий (хромирование).

Добыча хромитовой руды составляет 13 млн. т, 60% добычи приходится на Казахстан и ЮАР. Мировые запасы хромитов в 27 странах составляют 3,5 млрд. т. Около 80% их сосредоточено в Казахстане и ЮАР, остальные в Зимбабве, Индии, Турции, Филиппинах. Главная хромитоносная провинция в России и Казахстане – Урал. В настоящее время разрабатывается группа хромитовых месторождений, находящихся в юго-

восточной части Кемпирсайского массива на Южном Урале (Казахстан) и Сарановское месторождение на западном склоне Среднего Урала (Россия).

Наиболее строгие требования к качеству руд предъявляет металлургическая промышленность, здесь используются руды с содержанием Cr_2O_3 более 49%, при соотношении Cr_2O_3 : FeO более 2,5 и содержании S и P менее 1%. В химической промышленности применяются руды с содержанием Cr_2O_3 более 44%, Fe_2O_3 менее 14%, SiO_2 менее 5%; в огнеупорной - Cr_2O_3 более 32%, SiO_2 менее 6%, CaO менее 1%.

Кларк хрома в земной коре 0,0083%. Повышенные содержания находятся в ультраосновных породах. Известно 25 минералов хрома. Промышленными являются хромшпинелиды («хромиты»), имеющие общую формулу $(\text{Mg,Fe})\text{O}(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_3$. Состав хромитов изменчив. Наибольшее значение имеет магнохромит (Cr_2O_3 – 50-60%), меньшее – алюмохромит и хромпикотит. Другие минералы часто сопровождают хромитовые руды и имеют поисковое значение.

Генетические типы промышленных месторождений: ликвационные, раннемагматические, позднемагматические и россыпные.

Ликвационные и раннемагматические руды образуются на ранней стадии кристаллизации ультраосновных магматических пород. Границы рудных тел (шлиры, гнезда) нечеткие. Иногда в результате гравитационной дифференциации происходит концентрация хромитов в ультрамафитовой зоне плутона. Такие месторождения известны в ЮАР (Бушвельдский массив), Зимбабве (Великая Дайка). Они представлены пластообразными телами хромитовых руд в расслоенных массивах ультраосновных пород. В уникальном Бушвельдском массиве месторождения хромитов приурочены к двум рудоносным горизонтам протяженностью 110-160 км. Руды вкрапленные, массивные, встречаются хромиты с нодулярной текстурой. Мощность

пластов 0,2-1,8 м. Запасы хромитов оцениваются в 1 млрд. т, среднее содержание Cr_2O_3 45%.

Позднемагматические месторождения распространены более широко. Они известны на Урале, Кавказе, Сибири, на Чукотке, Сахалине, а также за рубежом – Албании, Греции, Турции, Иране, Пакистане, Индии, Филиппинах. Месторождения связаны с ультраосновными породами: в различной степени серпентинизированными дунитами, перидотитами, пироксенитами. Наиболее распространенная форма рудных тел – линейно вытянутые жиллоподобные линзы. Размеры отдельных тел варьируют от нескольких десятков метров до 1,5 километра по простиранию при мощности от нескольких до 150 м. Контакты хромитов с вмещающими породами резкие.

В хромитовых рудах Кемпирсайского дунит-гарцбургитового массива (рис. 1.5) содержатся платиноиды (металлы платиновой группы – МПГ), суммарное содержание доходит до 0,8 г/т (в том числе Os, Ru, Ir, Rh, Pt и Pd). В богатых хромитовых рудах количество платиноидов достигает 0,7-2,0 г/т. Минералы группы платины выявлены как идиоморфные включения размером до 100 мкм внутри зерен хромитов. Они представлены твердыми растворами Os-Ir-Ru, Ir-Os-Fe, Ni (самородные Ir и Os, Ru, Os-Ir, Ru-As, Ir-Ru-As-S. Такие руды являются крупными платиносодержащими объектами.

Россыпные месторождения хромитов (элювиально-делювиальные) образуются в результате выветривания магматических месторождений. Это валунчатые руды Сарановского месторождения и порошковатые руды коры выветривания Кемпирсайского района. Подобные месторождения известны на Кубе, Филиппинах, в Новой Каледонии. Россыпные месторождения по своему промышленному значению являются несущественными.

Кимперсайская группа магматических месторождений (рудная формация хромитовая) расположена в пределах Кимперсайского массива ультраосновных пород Южного Урала на территории Казахстана. Массив

вытянут на 82 км в субмеридиональном направлении согласно с контролирующей его зоной глубинного разлома. Ширина массива от первых км в северной части до 32 км в южной (рис. 1.5.).

Кимперсайский массив в южной части имеет форму лакколита, залегающего между породами верхнего протерозоя и нижнего палеозоя.

Сформировался массив 400-380 млн. лет назад (ранний девон). Массив сложен перидотитами и дунитами в различной степени серпентинизированными. Вмещающими крупные хромитовые залежи породами являются серпентинизированные дуниты.

В пределах массива известно более 160 хромитовых месторождений и рудопроявлений. Все промышленные хромитовые месторождения размещены в Южно-Кимперсайском рудном поле. Наиболее распространенные формы рудных тел – линейно-вытянутые жилоподобные линзы, реже изометричные линзы и столбообразные залежи. Глубина залегания рудных тел от приповерхностной до 1200 м, далее они буровыми скважинами не прослежены. Размеры рудных тел от нескольких десятков метров до 1500 м по простиранию при мощности от нескольких до 150 м. Количество рудных тел, составляющих месторождение, различно – от одного (месторождение Молодежное) до 99 (месторождение Миллионное).

Текстуры руд массивные, вкрапленные и нодулярные, сложены магнохромитом, оливином или серпентином. Среднее содержание в рудах хромшпинелидов – от 80 до 90%; серпентина – 5-15%, карбонатов – 4-7%. Руды относятся к высокосортным, с низким содержанием железа, кальция фосфора и серы. Хромитовые руды содержат платину и палладий (первые граммы на тонну).

Хромитовые руды магматической группы являются важнейшим источником получения металла.

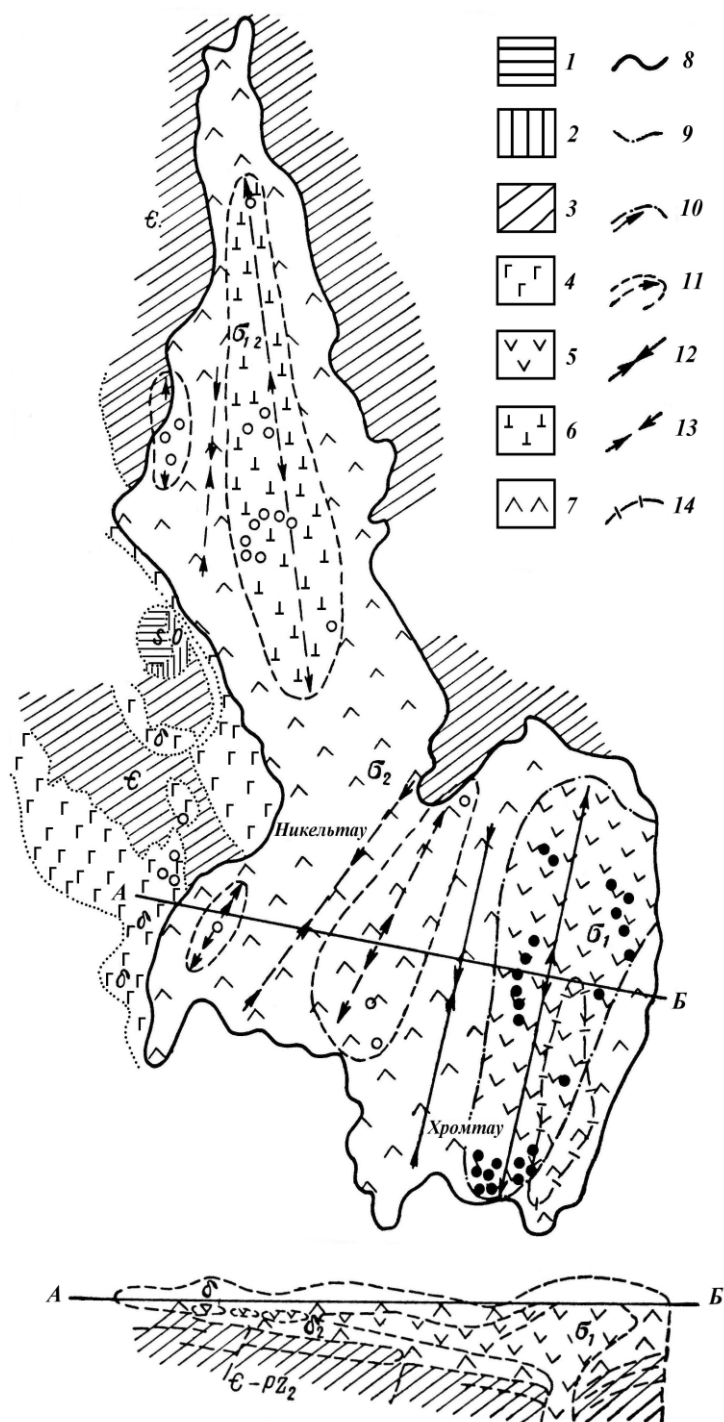


Рис. 1.5. Структурно-петрографическая схема Кемпирсайского хромитового массива. По Н.В. Павлову и Г.А. Соколову.

Вмещающие палеозойские отложения: 1 – силурийские, 2 – ордовикские, 3 – кембрийские; интрузивные породы: 4 – габброиды, 5 – серпентизированные дуниты с перидотитами, 6 – серпентинизированный дунито-перидотитовый шлирово-полосчатый комплекс, 7 – серпентизированные перидотиты (лерцолиты, гарцбургиты); 8 – контур массива ультраосновных пород; 9 – стратиграфические границы; 10 – четко выраженные сводовые

поднятия в массиве и их оси; 11 – сводовые поднятия, выраженные менее четко; 12 – оси межсводовых опусканий; 13 – оси менее четко выраженных межсводовых опусканий; 14 – контур проекции подводящего канала; черные кружки – высокохромистые месторождения и рудопроявления; светлые кружки – низкохромистые месторождения и рудопроявления.

1.4. Месторождения титана и ванадия

Титан был открыт в 1791 году. Применяться начал лишь с середины XX в. Свойства титана уникальны: температура плавления 1725° , удельный вес $3,6 \text{ г/см}^3$. Титан отличается высокой прочностью и коррозионной стойкостью. Титановые сплавы, отличающиеся высокой прочностью, ковкостью и свариваемостью, применяются в космической технике, авиационной, автомобильной, судостроительной, пищевой и медицинской отраслях промышленности. Карбид титана применяется для изготовления сверхтвердых сплавов, двуокись титана для производства стойких титановых белил, пластмасс и в целлюлозно-бумажной промышленности.

Производство титановых концентратов в зарубежных странах составляет 5,2 млн. т. Основные производители титановых концентратов Австралия, ЮАР, Канада и Норвегия.

Общие запасы двуокиси титана в 20 зарубежных странах оцениваются в 420 млн. т. Около 90% этих запасов сосредоточено в Бразилии, ЮАР, Австралии, Индии, Китае, Украине, Норвегии и Канаде. Из 36 разрабатываемых месторождений только три относятся к коренным: Теллнес (Норвегия), Аллард Лейк (Канада), Панчджихуа (Китай). Среди россыпных месторождений крупнейшими являются россыпи ЮАР, Австралии, Индии, Бразилии.

В России запасы титана сосредоточены в 20 месторождениях (53,1% – в россыпных и 46,9% в магматогенных). После завершения эксплуатации Кусинского месторождения титан получают попутно из лопаритовых концентратов и апатит-нефелиновых руд Кольского полуострова. Кроме того, производится импорт титана из Австралии, Канады.

Промышленными являются коренные месторождения, которые содержат в рудах более 10% TiO_2 и россыпные, в которых более 10% ильменита или 1,5% рутила.

Кларк титана 0,45%. Повышенные концентрации титана отмечаются в основных, ультраосновных (габбро, анортозитах, горнблендитах, пироксенитах) и щелочных породах.

В настоящее время известно около 70 минералов титана. Во многие из них титан входит в качестве примеси. Промышленными являются ильменит FeTiO_3 и рутил TiO_2 . Извлечение ильменита из титаномагнетита возможно при размерах зерен ильменита более 0,3 мм. Частично титан извлекают из лейкоксена и лопарита.

Генетические типы промышленных месторождений титана достаточно разнообразные: магматические, выветривания, россыпные, вулканогенно-осадочные и метаморфические.

Магматические (позднемагматические) месторождения связаны с основными и ультраосновными породами. Наиболее значительные месторождения приурочены к крупным массивам анортозитовой формации, интрузиям габбро-норитов и габбро-долеритов. Рудные тела имеют жиллообразную форму. Преобладают массивные текстуры. Руды по составу ильменит-магнетитовые. Содержание TiO_2 32-36%, Fe 39-43%. В России к ним принадлежат месторождения Урала (Кусинское, рис. 1.6.); Восточного Саяна (Мало-Тогульское и др.), Карелии (Пудожгорское); в Канаде - Лак-Тио, Аллард-Лейк; в США – Тегавус; в ЮАР – Бушвельд; в Норвегии – Теллес.

Кусинское месторождение (Средний Урал) позднемагматического класса (формация титано-магнетитовая) залегает в дифференцированных массивах основных породах, генетически связанных с габбро-пироксенит-дунитовой формацией ранней стадии развития складчато-подвижного пояса. Эндоконтактовые зоны интрузивного массива метаморфизованы вместе

с вмещающими породами с образованием гранатовых амфиболитов по габбро. В центральной части массива рудные пироксениты имеют массивную текстуру.

Рудные тела: жилы, линзы, гнезда, а также вкрапленники шпирообразной, лентовидной и неправильной форм. Положения рудных тел и их морфология контролируется элементами протоматматической тектоники (магматическим расслоением пород в процессе их дифференциации); в последствии, рудные тела разбиты продольными и поперечными сбросо-сдвигами.

Важнейшие рудные минералы: ильменит, титано-магнетит, рутил. Кроме того, в рудах отмечаются брукит, магнетит, апатит, редко сульфиды (пирротин, пирит, халькопирит). Жильные минералы представлены моноклинным пироксеном, присутствует гранат, амфибол, эпидот, хлорит и серпентин. Текстура руд обычно массивная, полосчатая, пятнистая и вкрапленная. Характерна также сидеронитовая текстура руды с обилием явлений распада титаномагнетита на ильменит и магнетит.

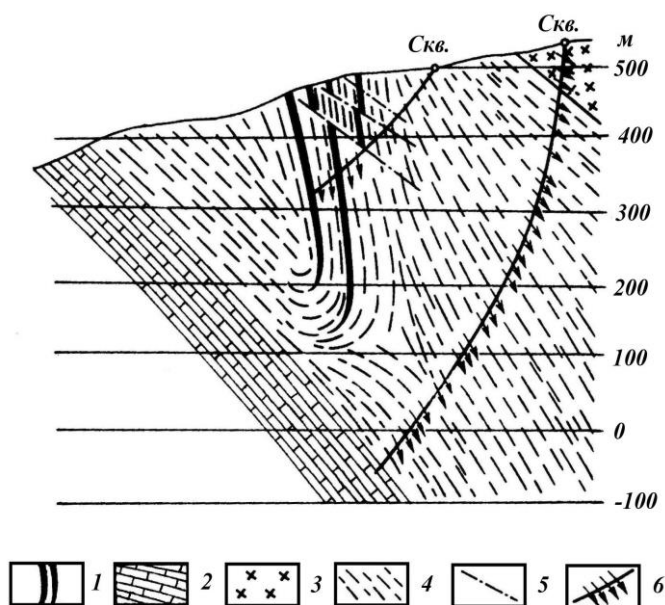


Рис. 1.6. Поперечный разрез Кусинского месторождения. По Д. Штейнбергу и др. 1 – сплошной титаномагнетит; 2 – карбонатные породы

лежащего бока; 3 – гранито-гнейсы; 4 – габбро-амфиболиты; 5 – тектонические нарушения; 6 – направление структурных элементов полосчатости.

С интрузиями щелочного состава связаны вкрапленные руды лопаритового, перовскитового и титаномагнетитового состава, в которых титан является побочным компонентом, главное промышленное значение в них имеют редкие (Nb) и редкоземельные элементы.

Месторождения выветривания. Современные и погребенные титаносодержащие коры образуются на габброидных и метаморфических породах. Мощность кор достигает нескольких десятков метров.

Титан представлен ильменитом и рутилом. Содержание ильменита может достигать нескольких сотен, а рутила десятков килограммов на кубический метр. Коры имеют самостоятельное промышленное значение и являются источником рудного материала для образования россыпных месторождений.

Россыпные месторождения имеют важное промышленное значение. Среди них различают два типа: прибрежно-морские и континентальные. Более важными являются прибрежно-морские, меньшее значение имеют континентальные аллювиально-делювиальные россыпи. По времени образования среди литоральных (прибрежно-морских) россыпей выделяют древние (ископаемые) и современные.

В России главное значение имеют древние россыпи, распространенные в отложениях неогена и палеогена Ставрополя, палеогена Зауралья, Северного Приаралья, юго-западной части Сибирской плиты, палеогена и мезозоя Чулымо-Енисейской и Амуро-Зейской впадин, мезозойских депрессий Уральской складчатой системы, Иркутского угленосного бассейна, палеозоя Тиманского и Томь-Колыванского поднятий.

В пределах Западно-Сибирской плиты выявлено пять титанциркониевых россыпных месторождений: Туганское, Тарское, Георгиев-

ское, Николаевское, Ордынское и ряд проявлений в скважинах и выработках.

Мощность россыпей от 1–5 до 7–10 и даже 27 м, ширина их от 200 м до 4 км. Содержание циркона от 2–3 до 30 кг/м³, содержание ильменита от 7–10 до 80–120, содержание рутила до 10 кг/м³. В тяжелой фракции преобладают ильменит с лейкоксоном, составляющие иногда 80% шлиха,

Туганские россыпи изучены и разведаны. Предложены методика добычи песков карьерами до 80–100 м глубиной и технология их обогащения. Хвосты россыпи могут использоваться как кварцевые, стекольные пески и каолиновые глины. Туганские россыпи представляют собой первоочередной объект для разработки и добычи титановой, циркониевой руд и многочисленных редких, редкоземельных и радиоактивных элементов.

Современные литоральные ильменит-рутил-цирконовые комплексные россыпи отличаются большими размерами и крупными запасами. Для них характерны пласто- и линзообразные залежи, мощность которых достигает десятков метров, а протяженность нескольких десятков километров. По составу эти россыпи обычно олигомиктовые: главный породообразующий минерал – кварц. Пески тонко- и мелкозернистые. Содержание в россыпях ильменита и рутила от десятков до сотен кг/м³.

Метаморфогенные месторождения. В этой серии выделяются месторождения метаморфизованной и метаморфических групп.

Метаморфизованные месторождения образуются при метаморфизме древних россыпей и коренных магматических руд.

Метаморфические месторождения образуются при метаморфизме интрузивных, эффузивных и осадочных пород, обогащенных титаном. На Кузнечихинском месторождении (Средний Урал) в амфиболитах содержится около 1,5% рутила, а в эклогитах Шубинского месторождения (Южный Урал) - 4,5%. Промышленное значение таких месторождений невелико.

Ванадий был открыт в 1801 году. Стал применяться для легирования чугуна и стали с начала XX в. Он повышает твердость, упругость, износостойчивость и сопротивление разрыву. Титано-ванадиевые сплавы применяются в авиационной и космической технике. Известны также сплавы V с Cu, Ta, Nb, Zr, Ni, Co, Al и Mg. В химической промышленности ванадий применяется в качестве катализатора при крекинге нефти, производстве красок, каучука.

Производство ванадиевых продуктов (V_2O_5) достигло 52 тыс. т. Главными производителями являются ЮАР, Россия, Китай и США.

Общие запасы пятиокиси (V_2O_5) ванадия в 19 странах мира 60 млн. т, 90% из них сосредоточено в России, ЮАР, Венесуэле, США и Китае.

Кларк ванадия 0,02%. Повышенные концентрации ванадия отмечаются в габбро и базальтах. Близость ионных радиусов V^{+3} , Fe^{3+} и Ti^{4+} приводит к тому, что ванадий в гипогенных процессах находится в рассеянном состоянии в минералах железа и титана – титаномagnetите, сфене, рутиле, ильмените, пироксенах, амфиболах и гранатах.

В экзогенных условиях ванадий обладает высокой миграционной способностью, а также адсорбируется гидроксидами железа, алюминия и органическим веществом.

Из 90 минералов ванадия промышленными являются: титаномagnetит с содержанием 0,3-10% V_2O_5 , роскоэлит $KV_2[AlSiO_3]O_{10}(OH)_2$, карнотит $K_2U_2[VO_4]O_4 \cdot 3H_2O$, ванадинит $Pb_5[VO_4]Cl$, деклуазит $(Zn,Cu)Pb[VO_4]OH$, кулсонит $Fe(Fe,V)_3O_4$ и патронит VS_4 .

Минимальное кондиционное содержание ванадия в титаномagnetитовом концентрате 0,3%, вредные примеси – CaO и P.

Генетические типы промышленных месторождений ванадия разнообразны: магматические, метасоматические, выветривания, россыпные, осадочные и метаморфогенные образования.

Большинство месторождений, из руд которых извлекают ванадий, комплексные: ванадий получают попутно с добычей главных компонентов – Fe, Ti, U, Pb, Zn, P, а также нефти.

В России сырьем для производства ванадия служат титаномагнетитовые руды. В зарубежных странах около 90% ванадия получают из титаномагнетитовых и ильменит-магнетитовых руд, остальное - из уран-ванадиевых (карнотитовых), ванадиевых (роскоэлитовых) руд, фосфоритов, бокситов, глин зоны аргиллитизации, окисленных полиметаллических руд и нефти.

Магматические (позднемагматические) месторождения. Наиболее крупные массивы ванадиеносных ультраосновных и основных пород приурочены к анортозитовой формации (Канадский щит) и формации габбровых и норитовых интрузий (бушвельдский комплекс). Меньшие площади имеют породы габбро-пироксенит-дунитовой формации, с которыми связаны месторождения ванадийсодержащих титаномагнетитов на Урале. Содержание ванадия в рудах 0,1-1%. Запасы на отдельных месторождениях составляют несколько миллионов тонн. Главные минералы-концентраторы ванадия - титаномагнетит и магнетит. Примером уникальных месторождений ванадийсодержащих титаномагнетитовых руд являются Качканарское месторождение на Урале и ильменит-магнетитовые месторождения бушвельдского комплекса в ЮАР.

Своеобразные метасоматически-гидротермальные месторождения уран-благороднометально-ванадиевых руд обнаружены в конце 70-х - начале 80-х годов на юге Карелии в Онежском прогибе. В районе выявлено 11 рудоносных зон. Рудоносные зоны представлены антиклинальными складками, ядра сложены доломитами и глинисто-карбонатными породами, а крылья - углеродистыми сланцами и алевролитами. Рудные залежи тесно связаны с углеродсодержащими алевролитами, приурочены к контакту

алевролитов и высокоуглеродистых глинисто-карбонатных сланцев. Рудные тела имеют шнуровидную и ленточную форму мощностью до 40 м, протяженностью до 2,5 км. Среднее содержание V_2O_5 2,5-3,5%, урана 0,15-0,25%, наблюдаются также повышенные содержания Au, Ag, Pt, Pd и других элементов. Ванадий заключен в слюдах – роскоэлите, флогопите и других минералах, уран представлен настураном, коффинитом и частично уранинитом. Благородные металлы связаны с сульфидами и селенидами Pb, Bi, Cu. В гнездах и прожилках битуминоидов отмечаются Pt и Pd. Содержание Pd варьирует от 0,5 до 400 г/т, Pt – от 0,05 до 30 г/т. Выявлены также Ir и Rh, а в отдельных пробах Os. Концентрация Au составляет от 0,01 до 2, в отдельных случаях 250 г/т, а Ag – от 5 г/т до 1500 г/т.

По многообразию минералов (выявлено 80 рудных минералов) и элементов (около 30) месторождения Онежского прогиба уникальны и не имеют аналогов ни в нашей стране, ни за рубежом. Месторождения полиминеральны и многокомпонентны. В них отечено четыре этапа рудообразования: метасоматический, метаморфогенный, гидротермальный рудный и гидротермальный пострудный, а также этап экзогенного выветривания и формирования зоны вторичного обогащения. Время формирования оруденения оценивается в интервале 1900 – 1700 млн. лет.

Прогнозные запасы оксида ванадия (V_2O_5) оцениваются в 300 тыс. т.

Месторождения выветривания. Месторождения зоны окисления полиметаллических месторождений широко распространены в Африке (Тсумеб, Брокен-Хилл), встречаются в Австралии, России, США. Это небольшие по запасам месторождения, которые концентрируются только в окисленных рудах (до 5,6%). Коренные сульфидные руды содержат ванадий в небольших количествах. Рудные тела имеют трубообразную форму, верхняя часть их сложена окисленными рудами, содержащими минералы вана-

дия – ванадинит и деклуазит, а также сопутствующие церуссит, смитсонит, малахит, азурит. Глубина зоны окисления – несколько сот метров.

Карнотитовые и роскоэлитовые месторождения в пестроцветных отложениях (алевролиты, песчаники, гравелиты, конгломераты) мезозойского чехла (тип «плато Колорадо») распространены во многих странах, но наибольшее значение они имеют в США.

Россыпные месторождения. Крупные прибрежно-морские россыпи ванадийсодержащих титаномагнетитовых песков известны в Новой Зеландии. Подобные россыпи обнаружены на побережье Черного и Каспийского морей, на восточном побережье Камчатки и Курильских островов.

Осадочные месторождения. В пластовых фосфоритах Скалистых гор (США) пермского возраста отмечены концентрации V (до 0,22%).

Повышенной ванадиеносностью характеризуются высокосернистые сорта нефти Урало-Волжской провинции, Венесуэлы и Ирана.

Патронит в асфальтитах успешно отрабатывался в единственном месторождении этого типа Минас-Рагра (Перу). Содержание V около 6 %.

Незначительное количество V концентрируется в ряде осадочных месторождений железа (V_2O_5 0,05-0,1), бокситов, углей и углеродисто-кремнистых сланцев (0,1-0,2% V_2O_5).

Глава 2.

Генетические типы месторождений цветных металлов

2.1. Месторождения меди, никеля, кобальта

Медь

Медь известна с древнейших времен. Период широкого освоения плавки меди и бронзы в III-II тысячелетии до н.э. получил название «бронзового века».

Медь обладает высокой электропроводностью, химической устойчивостью, пластичностью, способностью образовывать сплавы с различными металлами. Наиболее широко применяются сплавы меди с оловом (бронза) и цинком (латунь), с никелем (мельхиор) и алюминием (алюминиевые бронзы).

Сплавы используются в электротехнике, средствах связи, транспорте, машиностроении, пищевой и химической отраслях промышленности. По объему производства и потребления медь занимает третье место после железа и алюминия.

Общие запасы меди в 92 зарубежных странах превышают 800 млн. т, в том числе подтвержденные – 550 млн. т. Наиболее крупными запасами владеют Чили, США, Россия, Китай, Польша, Перу, Замбия, Канада, Заир, Австралия.

В России запасы меди учтены на 125 месторождениях, большая часть из которых являются собственно медными, остальные – комплексными. Главные запасы сосредоточены на Урале, в Сибири, Прибайкалье, на Дальнем Востоке.

Основными производителями меди являются Чили, США, Канада. Всего в мире добывается свыше 9,3 млн. т.

Кларк $Cu = 47$ г/т. В основных породах содержание меди выше, чем в кислых. Тем не менее, промышленные концентрации меди возникают как в

связи с основным, так и кислым магматизмом.

В экзогенных условиях медь характеризуется высокой миграционной способностью.

Известно более 170 минералов меди, промышленное значение имеют: самородная медь, халькопирит CuFeS_2 , борнит Cu_5FeS_4 , халькозин Cu_2S , ковеллин Cu_2S , CuS_2 , теннантит $3\text{Cu}_{12}\text{SAs}_4\text{S}_{13}$, тетраэдрит $3\text{Cu}_{12}\text{SSb}_4\text{S}_{13}$, куприт Cu_2O , тенорит CuO , малахит $\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]$, азурит $\text{Cu}_3(\text{OH})_2[\text{CO}_3]_2$.

До 80% меди извлекается из сульфидных руд. Остальная добыча приходится на карбонатные, оксидные, силикатные руды и самородную медь. Минимальное промышленное содержание - 1%, при больших запасах комплексных руд допускается как приемлемое для промышленной отработки содержание 0,5%.

Генетические типы промышленных месторождений меди весьма разнообразны. Среди них выделяются магматические, скарновые, гидротермальные плутоногенные (меднопорфировые), гидротермальные вулканогенные, статиформные, колчеданные, карбонатитовые.

В России главное значение по запасам и добыче имеют месторождения четырех типов: магматического (медно-никелевые), меднопорфирового, медноколчеданного, стратиформного (медистых песчаников и сланцев).

Магматические месторождения. В этой группе выделяется два неравноценных типа: сульфидные Cu-Ni месторождения базит-гипербазитовых формаций; Cu-Ti (или ванадиево-железо-медные) месторождения в габброидах.

В месторождениях первого типа (формация сульфидных медно-никелевых руд) сосредоточено 1,8% запасов меди зарубежных стран. Значительно более существенное значение они имеют в балансе запасов и добыче меди в России (почти 45%). Норильские месторождения – Талнахское и Октябрьское - относятся к числу уникальных по запасам меди.

Медно-титановые месторождения немногочисленны и невелики по запасам меди. Они связаны с дифференцированными массивами габброидов платиноносного пояса Урала, где известно несколько небольших объектов. Наиболее известное и типичное – крупное Волковское месторождение на Урале (2,5% общероссийских запасов меди). Медные руды образуют зону протяженностью свыше 3 км. На месторождении насчитывается около 200 рудных тел, большая часть их сложена медносulfидными, титаномagnetитовыми и апатитовыми рудами. Главные минералы – борнит, халькопирит, немного халькозина, ванадийсодержащий титаномagnetит, апатит. Медно-sulfидное оруденение имеет вкрапленный характер. Среднее содержание Cu 0,65%.

Главным промышленным компонентом является медь, существенное значение имеют Fe, V, Ti и P. Отмечены примеси Au, Ag, Pd, Pt, Se и Te.

Скарновые месторождения формируются в экзоконтактовых зонах гранитоидных интрузий, прорывающих известняки. Возникающие в этих условиях известковые скарны гранат-пироксенового состава образуются и по вмещающим породам и по гранитоидам.

Промышленные рудные тела характеризуются сложной морфологией, небольшими размерами, комплексным составом руд. В этих месторождениях обычно сочетание борнит-халькопиритового и magnetитового оруденения. Руды прожилково-вкрапленные. Содержание меди высокое, но неравномерное, в среднем 1,5-3%. Сопутствующими компонентами являются Fe, Au, Co, Ag, Se, Te, Mo.

Скарновые месторождения многочисленны, но обычно невелики по масштабам. Доля их в мировых запасах 3,2%, в России роль этого типа более существенна. К скарновым относятся месторождения Турьинской группы на Урале (рис. 2.1.), Юлия в Западной Сибири, Саякское в Казахстане, месторождения США, Мексики, Перу и др.

Фроловское месторождение (формация меднорудных скарнов) является центральным в группе Турьинских медных рудников на Северном Урале. Месторождение приурочено к контакту кварцевых диоритов с известняками среднего девона. Сильно извилистая зона контакта усложняется дайками диоритового порфирита и тектоническими нарушениями. На глубине около 300 м толща известняков сменяется порфиритами. Пологопадающий контакт между ними создал условия для образования так называемых «донных» пластовых залежей скарнов.

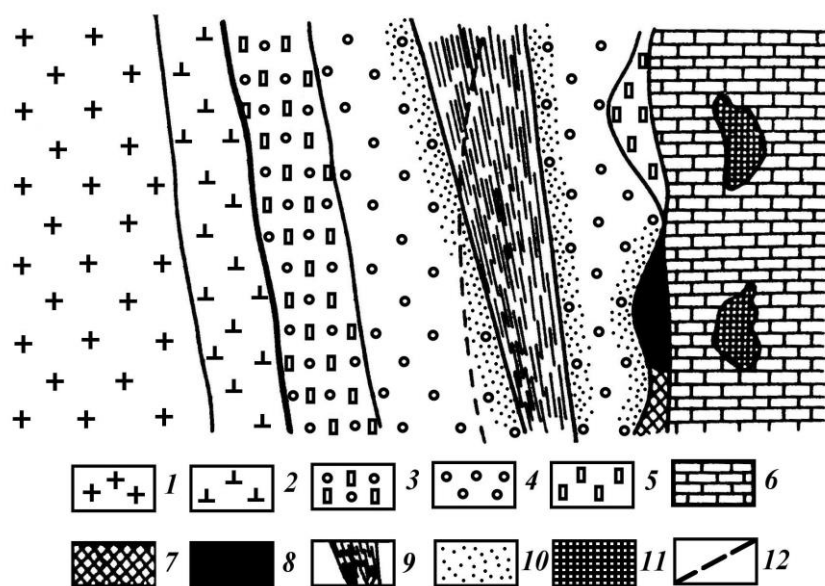


Рис. 2.1. Сводный разрез залежи скарнов Фроловского месторождения. По Л. Овчинникову.

Диориты: 1 – кварцевые, 2 – околоскарновые («контактовые»); скарны: 3 – пироксен-гранатовые, 4 – гранатовые, 5 – салитовые; 6 – мраморизованные известняки; 7 – магнетитовая руда; халькопиритовые руды: 8 – массивные в салитовом скарне, 9 – полосчатые зоны скалывания, 10 – вкрапленные в гранатовом скарне, 11 – в известняке; 12 – положение первоначального контакта.

Главным рудным минералом является халькопирит, с которым ассоциируют пирит, реже пирротин, сфалерит, галенит, молибденит и другие

сульфиды в комплексе с хлоритом, кальцитом и кварцем, замещающем более ранние гранат-пироксеновые породы.

Тела массивных медных руд возникли вследствие замещения зоны салитовых (диопсидовых) скарнов с образованием пластин, гнезд и труб непосредственно на контакте скарнов и известняков, следуя его весьма изменчивым очертаниям.

В зоне окисления халькопиритовых руд был развит знаменитый колломорфный малахит. В XIX веке ежегодно добывали до 80 тонн прекрасного камня. Русские мастера разработали особый способ изготовления изделий из малахита, называемый «русская мозаика». Малахит с Урала до сих пор считается самым ценным на мировом рынке. В Государственном Эрмитаже есть малахитовый зал, в котором экспонируются более сотни разнообразных изделий из уральского малахита

Гидротермальные плутогенные месторождения. Среди плутогенных гидротермальных месторождений выделяют меднопорфировые, связанные с гипабиссальными порфировыми интрузиями умеренно-кислого состава и жильные. Меднопорфировые месторождения играют главенствующую роль в запасах и добыче меди таких стран, как Чили, США, Перу, Мексика, Индонезия, Иран, Филиппины. Им свойственен ряд особенностей: связь оруденения с порфировыми интрузиями гранитоидного состава; жильково-вкрапленный штокверковый характер минерализации, развитой в эндо- и экзоконтактовых зонах порфировых штоков; устойчивый минеральный состав руд (главные минералы – пирит, халькопирит, магнетит, молибденит); относительно низкие содержания меди в первичных рудах; выдержанная зональность оруденения и гидротермально измененных пород; крупные и гигантские масштабы; комплексный многометалльный состав руд, их высокая технологичность, пригодность для отработки большими карьерами. Они заключают 61,9% мировых подтвержденных запасов.

Наблюдается зависимость состава руд от состава рудоносных интрузий, в связи с чем выделяются молибден-медно-порфировые, медно-молибден-порфировые, собственно молибден-порфировые, медно-порфировые и золото-медно-порфировые.

Примером золото-медно-порфировой формации в России может служить недавно разведанное Малмыжское месторождение (рис. 2.2.).

Малмыжское месторождение. Недавно разведанное Малмыжское месторождение плутоногенно-гидротермального класса золото-меднопорфировой формации находится на Дальнем Востоке России в Хабаровском крае. Малмыжское месторождение оценивается как перспективное мирового класса.

Потенциал «Малмыжа» позволяет утверждать, что он станет одним из крупнейших золото-медных проектов в мире, вышедших на отработку. Этому способствуют следующие благоприятные условия: 1) Перспективный регион для открытия новых золото-меднопорфировых месторождений; 2) приоритетная Государственная поддержка развития Дальнего Востока РФ; 3) близость к ведущим рынкам сбыта: Китай, Япония, Южная Корея; 4) Недалеко от федеральной трассы 46; 5) 60 км от ж/д в Комсомольске; 6) 1 км от судоходной реки Амур; 7) 220 км от русско-китайской границы; 8) Недалеко проходит ЛЭП; 9) Проложен магистральный газопровод.

Запасы и ресурсы руды, учтенные государственным балансом по категории C_1 , C_2 и P_1 составляют 2.32 млрд. т. Запасы меди по категории C_1+C_2 составляют 5,6 млн. т., золота – 298 т. Ресурсы меди по категории P_1 - 3,3 млн. т., золота – 151 т.

Рудные тела меднопорфировых месторождений располагаются в апикальной части рудоносных штоков: 65% в эндоконтактных зонах, 25% - в их ближайшем экзоконтакте (300-500 м), 10% - в далеком экзоконтакте (500-1500 м). Они представляют собой систему пересекающихся прожилков

и рассеянной рудной вкрапленности среди гидротермально измененных пород рудоносных штоков и вмещающих образований. Форма штокверков в плане различна, чаще всего это изометричные тела, овальные, кольцевые, иногда линейно-вытянутые. Рудные тела не имеют четких границ и оконтуриваются по данным опробования.

Минеральный состав руд: пирит, халькопирит, молибденит, в небольших количествах присутствуют сфалерит, галенит, часто магнетит. Встречаются борнит, энаргит, блеклые руды, халькозин. Из нерудных наиболее широко распространены кварц, серицит, биотит, минералы группы каолина. Среднее содержание Cu в первичных рудах 0,2-0,7%.

Размеры рудных залежей обычно велики, площадь их нередко измеряется квадратными километрами, объемы достигают 1 км^3 , а иногда и больше.

Важную роль для оценки меднопорфировых месторождений играет развитие процессов окисления, формирующих вторичную вертикальную зональность руд. Зона окисления сложена малахитом, азуритом, купритом, хризоколлой; зона вторичного сульфидного обогащения, мощность которой иногда достигает 200-300 м, сложена халькозином, ковеллином. В последней зоне содержание меди в 1,5-2,5 раза выше, чем в первичных рудах.

Меднопорфировые месторождения широко распространены. В мире их известно около 150. Выделяется три пояса распространения меднопорфировых месторождений: Тихоокеанский (Чили, Перу, США, Мексика, Канада), здесь сосредоточена преобладающая часть запасов; Средиземноморский (Югославия, Болгария, Армения, Турция, Иран, Афганистан); Казахстано-Монгольский (Казахстан, Узбекистан, Китай). В числе наиболее известных месторождений могут быть названы Коунрад (Казахстан), Малмыжское, Песчанка (Россия), Чукикамата, Эль-Тениенте (Чили), Бингем (США) и др.

Жильные месторождения распространены довольно широко, но крупные объекты встречаются редко, в них содержится всего 1% мировых запасов. К жильным относятся Чатыркульское месторождение (Казахстан), Бьютт (США).

Вмещающими породами часто являются гранитоиды или вулканогенно-осадочные породы. Рудные тела имеют форму ветвящихся жил. Главные рудные минералы – халькопирит, иногда энаргит, жильные – кварц и карбонаты; второстепенные – пирит, молибденит, халькозин, борнит, блеклые руды, галенит, сфалерит. Кроме меди извлекаются благородные и рассеянные металлы.

Стратиформные метаморфизованные месторождения. **Удоканское месторождение** (формация медистых песчаников) расположено в пределах Олекмо-Витимской меденосной металлогенической провинции Северо-Восточного Забайкалья, оно приурочено к крупному Кодаро-Удоканскому прогибу раннепротерозойского заложения на архейском кристаллическом основании (рис. 2.3.).

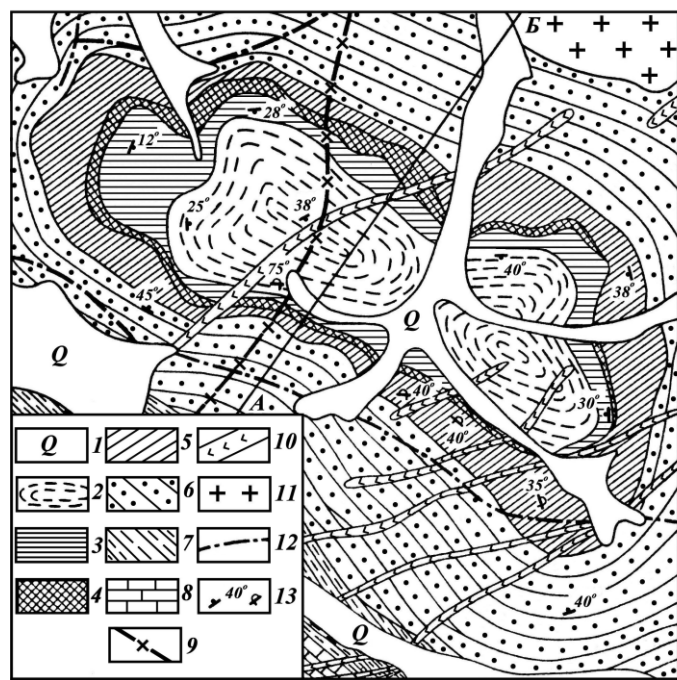


Рис. 2.3. Схема геологического строения Удоканского месторождения. По Э. Гринталю, В. Чечеткину и др.

1 – четвертичные отложения; 2 – намингинская свита – алевролиты, песчаники, аргиллиты; 3 – 5 – верхняя подсвита сакуканской свиты: 3 – надрудная пачка – известковистые и кварцитовидные песчаники, алевролиты, 4 – **рудная пачка** - известковистые и кварцитовидные песчаники, алевролиты, 5 – подрудная пачка - известковистые и кварцитовидные песчаники, алевролиты, конгломерато-брекчии; 6 – средняя подсвита сакукан-

ской свиты – магнетитосодержащие песчаники, гравелиты; 7 – нижняя под-свита сакуканской свиты – песчаники, филлитовидные сланцы, гравелиты, конгломераты-брекчии; 8 – бутунская свита – известняки, алевролиты, известковистые

Месторождение занимает площадь около 30 км². Центральная часть синклинали сложена свитой метаалевролитов, аргиллитов и песчаников мощностью до 1000 м. Залегающая ниже рудовмещающая толща мощностью от 650 до 800 м сложена серыми и розовато-серыми ритмично перславляющимися метапесчаниками, в меньшей степени – алевролитами и аргиллитами. Рудные тела устанавливаются по результатам опробования. Они характеризуются согласным залеганием, пластообразно-изометричной, линзовидной, лентовидной формами. В плане они образуют серию рудных полос или лент, вытянутых вкрест простираения прогиба, что свидетельствует о продвижении в этом направлении палеодефлукции. Протяженность рудных тел до 2 – 3 км.

Главные рудные минералы халькозин, борнит, халькопирит. Выделяются пирит-халькопиритовые, халькопирит-борнитовые и борнит - халькопиритовые руды. Содержания меди в рудных телах, оконтуренных по бортовому содержанию, в среднем 0,6% (до 1,67%). Руды комплексные, попутные компоненты – серебро, золото и др. Запасы меди более 20 млн. т, что составляет около 21% общероссийских запасов.

Локализованное в раннепротерозойской толще осадочно-метаморфизованных пород месторождение испытало воздействие катагенеза, регионального метаморфизма, тектоническим дислокациям.

На месторождении развита зона окисления глубиной 10-20 м, в отдельных случаях окисленные руды встречены на глубинах 200-500 м.

Колчеданные месторождения связаны с вулканогенными и вулканогенно-осадочными формациями. Они обычно тяготеют к верхним частям

разреза рудоносных формаций, располагаясь в вулканогенно-осадочных или терригенных породах, фиксирующих прекращение или затухание активного вулканизма. Размещение месторождений контролируется положением вулканических центров, рудные тела приурочены к локальным вулканическим структурам. Форма рудных тел весьма разнообразна. В большинстве случаев это линзовидные, нередко пластообразные залежи согласные с вмещающими породами. Протяженность рудных тел достигает иногда 3-5 километров при мощности до 100 м. Некоторые месторождения характеризуются многоярусным строением.

Как правило, руды массивные и полосчатые, на контактах прожилково-вкрапленные.

Минеральный состав характеризуется резким преобладанием сульфидов железа (90-95%). Они ассоциируют с халькопиритом, галенитом, сфалеритом, блеклыми рудами, суммарное количество которых составляет 5-10%. Нерудные минералы представлены кварцем, серицитом, хлоритом. Содержание меди, в среднем, 1,4%, цинка 2%. Кроме этого в промышленных количествах содержатся Au (0,2-10 г/т), Ag (30-40 г/т), Cd, Se, Te, Co.

Околорудные изменения заключаются в окварцевании, хлоритизации, серицитизации.

Колчеданные месторождения широко распространены, в них содержится 8,4% мировых запасов меди. В Разведанные медноколчеданные месторождения России содержат 28% общероссийских запасов. Наибольшей известностью пользуются месторождения Урала (Гайское, Сибайское, Блявинское, Учалинское и др.), Северного Кавказа, Закавказья, Канады, Кипра, Испании, Японии, Турции и др. Гайское относится к разряду уникальных по запасам.

Месторождение Гайское (рис. 2.4., 2.5.). находится на Урале, выполняет палеовулканическую жерловину. Гидротермально-

метасоматические медноколчеданные руды в венчающей части разреза сменяются цинково-медноколчеданными рудами, отложившимися на дне водоема в вулканической кальдере. Рудные тела в форме жил и неправильных залежей мощностью от первых метров до 100 м и более уходят на глубину 1000 – 1200 м. Главные рудные минералы – пирит, халькопирит, сфалерит, присутствуют борнит, блеклые руды, галенит, самородное золото, серебро. Попутно извлекаются рассеянные элементы – кадмий, селен, теллур и германий.

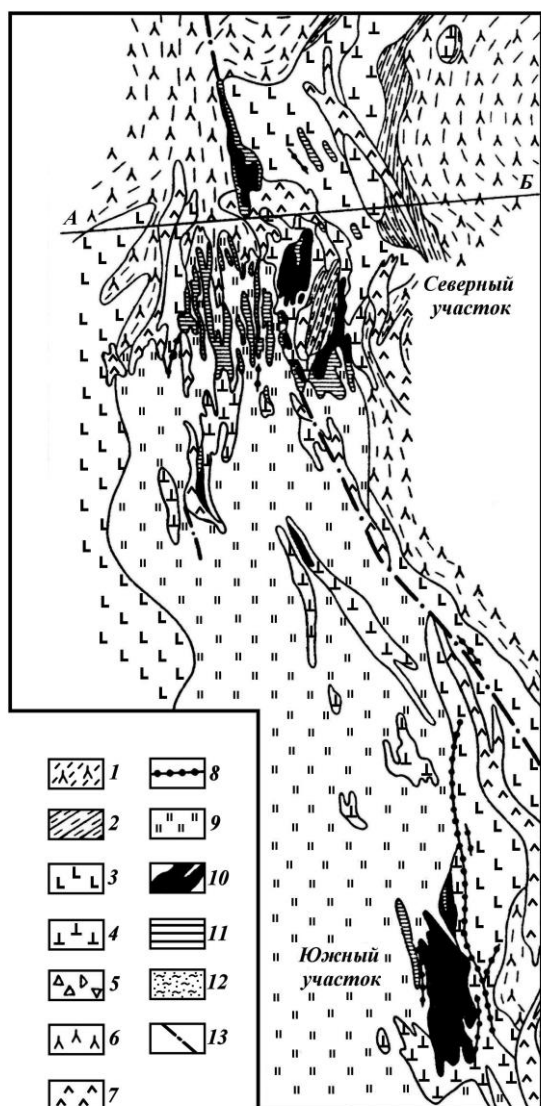


Рис. 2.4. Геологический план одного из горизонтов Гайского месторождения. По материалам Гайского бурового участка и комбината.

1 - 2 – верхняя (надрудная) толща: 1 – лавы. Туфы и агломераты плагиоклазовых и пироксен-плагиоклазовых диабазовых порфиритов, 2 – слоистые переотложенные туфы смешанного состава; 3 – 5 – нижняя (рудовмещающая толща): 3 – туфо, туфоагломераты и туфобрекчии смешанного липарито-дацитового и андезито-дацитового состава с подчиненными прослоями лав того же состава, 4 – субвулканические кварцевые липарито-дациты, частично жерловые порфирокластические ингриты и спекшиеся туфы липарито-дацитового состава; 5 – взрывные брекчии полимиктового состава; 6 – плагиоклазовые диабазовые порфириды; 7 – габбро-диабазы (силы, дайки, тела неправильной формы); 8 – афировые миндалекаменные диабазы; 9 – кварц-серицитовые, серицит-кварцевые и кварцевые метасоматиты преимущественно понеровноблочным брекчиям липаритового состава, частич-

ной формы); 8 – афировые миндалекаменные диабазы; 9 – кварц-серицитовые, серицит-кварцевые и кварцевые метасоматиты преимущественно понеровноблочным брекчиям липаритового состава, частич-

но по субвулканическим и жерловым липаритовым и липарито-дацитовым порфирам; **10** – сплошные колчеданные руды; 11 – вкрапленные руды; 12 – рыхлые песчано-глинистые мезо-кайнозойские отложения; 13 – разрывные нарушения.

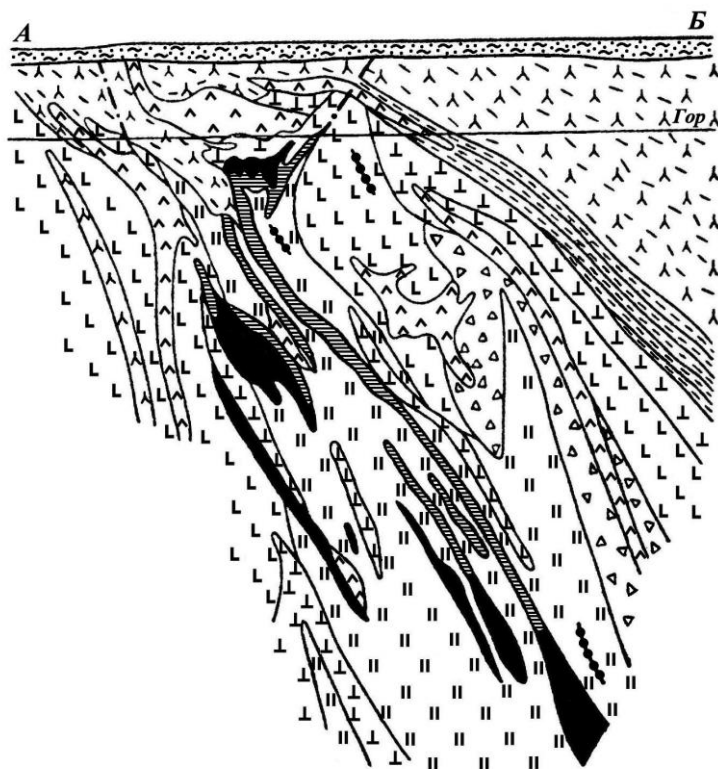


Рис. 2.5. Геологический разрез Северного участка Гайского месторождения. По материалам Гайского бурового участка и комбината. Условные обозначения см. на рис. 2.4.

Вулканогенные гидротермальные месторождения формации самородной меди с цеолитами редки (месторождение оз. Верхнего, США). В России известны лишь рудопроявления этого типа. Рудовмещающие породы представлены миндалекаменными базальтами, переслаивающимися с конгломератами. Самородная медь выполняет миндалины в верхних частях покровов. Самородная медь (редко Ag) ассоциирует с цеолитами, кальцитом, кварцем, хлоритами.

Карбонатитовые месторождения. Этот тип месторождений был выделен благодаря открытию уникального по запасам, но пока единственного

в мире промышленного месторождения Палабора в ЮАР. Это комплексное месторождение, приуроченное к массиву ультраосновных щелочных пород, представляющему трубообразное тело диаметром 0,5-0,7 км, прорывающее архейские граниты. Медная минерализация локализована в карбонатитах в центральной части массива и представлена прожилками и зонами вкрапленности. Главные минералы меди – борнит, халькопирит, кубанит. Отмечаются примеси других минералов – торинит, бадделеит и др. Среднее содержание Cu – 0,68%. Рудное тело прослежено до глубины 900 м. Запасы Cu – 1,5 млн. т. Помимо Cu, магнетита и апатита из руд извлекают U, Th, Au, Ag.

Сульфидные руды океана – одно из крупнейших открытий последнего времени. Известно два типа проявлений гидротермальных сульфидов на дне океана – металлоносные осадки и массивные сульфиды.

Металлоносные осадки обнаружены в Красноморском рифте. Здесь установлен ряд впадин, заполненных металлоносными осадками и гидротермальными минерализованными рассолами. В одной из них – Атлантис II размером 6х15 км отмечается активная гидротермальная деятельность и продолжающийся процесс накопления металлоносных осадков. Прослои сульфидных фаций содержат сфалерит, реже пирит, барит, более редко кубанит, халькопирит и др. Обнаружены самородное Fe, Al и Pb. Мощность осадков 30-100 м, мощность сульфидных горизонтов 1-7 м. Средние содержания металлов (в %): Fe 23, Zn 2,4, Cu 0,8, Pb 0,05.

Массивные сульфиды в виде конусовидных построек были впервые обнаружены в 1978 г. В настоящее время известно около 50 районов распространения сульфидных руд в Мировом океане. Многие находятся в активной стадии. Через трубообразные конусы сульфидных построек поступают гидротермальные растворы (температура около 350⁰), насыщенные минеральными частицами и рассеивающиеся в воде подобно дыму в возду-

хе. Благодаря этому сульфидные трубы получили название «черные курильщики». В настоящее время они выявлены в зоне Восточно-Тихоокеанского поднятия, в районах задугового спрединга Тихого океана, в пределах Срединно-Атлантического хребта. Сульфидные постройки разнообразны по форме, строению и минеральному составу. Крупные тела имеют форму холмов или труб. Холмы имеют конусообразную форму высотой до 50 м, иногда форму труб, колонн высотой до 15-20 м.

Минеральный состав сульфидных руд гидротермальных построек весьма разнообразен. Наибольшим развитием пользуются пирит и марказит (около 50%), сульфиды Zn (около 34%), пирротин, халькопирит, кубанит, реже встречаются галенит, арсенопирит, никелин, молибденит, минералы Ag, самородная Cu, Au и др. Рост сульфидных построек происходит быстро. Конические сульфидные сооружения с диаметром основания 6 м и высотой 3 м, имеющие массу около 41 т, сформировались за 70 лет

Никель

Никель известен с глубокой древности, но промышленное производство началось в первой половине XIX в. Никель используется для покрытия металлических изделий для придания им высокой химической и термической стойкости. Добавка к сталям повышает их вязкость, упругость, антикоррозионные свойства. Применяются также сплавы Ni с Cu, Zn, Al, Cr и др.

Мировые запасы Ni (без стран СНГ) около 50 млн. т. Наиболее крупными запасами обладают Новая Каледония, Куба, Канада, Индонезия, Австралия. Разработка месторождений ведется в 26 странах мира. Основу минерально-сырьевой базы Ni составляют 35 крупных месторождений, в которых сосредоточено 91% мировых разведанных запасов и 95% мировой до-

бычи. Ежегодное производство металлического Ni превышает 850 тыс. т. Основными производителями являются Россия и Канада.

В России преобладающая часть запасов Ni (около 90%) и добычи металла (около 97%) приходится на сульфидные медно-никелевые месторождения Норильского района. Около 7% запасов Ni заключено в богатых рудах Заполярного месторождения (Кольский полуостров) и Курско-Воронежском регионе. Остальные 3% связаны с силикатными Ni рудами месторождений Урала. В зарубежных месторождениях на силикатные кобальто-никелевые месторождения приходится 66,8%.

В ближайшие годы начнется промышленное освоение железомарганцевых конкреций океанического дна (новый промышленный тип месторождений). Среднее содержание Ni в конкрециях 1,3%, а ресурсы Ni, заключенные в железомарганцевых конкрециях составляют 73 млрд. т.

Все большая часть металла накапливается в «техногенных месторождениях» («хвосты» обогащения, шламы, шлаки, пирротиновые концентраты и некоторые другие отходы горной промышленности и металлургии). Данные по ним публикуют редко.

Кларк Ni 58 г/т (0,0058%). Повышенные концентрации наблюдаются в основных и ультраосновных породах. В ультраосновных породах никель связан с оливином, в котором он изоморфно замещает железо и магний. В этих условиях никель характеризуется большим сродством с серой и обособляется в виде сульфидов в ассоциации с медью, кобальтом, платиноидами. Из гранитоидных магм никель может выноситься гидротермальными растворами вместе с Co, As, S, а также Bi, Ag, U и образовывать месторождения арсенидов и сульфидов.

В гипергенных условиях Ni накапливается в корах выветривания массивов ультраосновных пород. Из 45 минералов никеля промышленное значение имеют: пентландит $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$, миллерит NiS, никелин NiAs, гарни-

ерит $\text{Ni}_4(\text{OH})_8[\text{Si}_4\text{O}_{10}]4\text{H}_2\text{O}$, ревдинскит $3(\text{Ni},\text{Mg})\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$. В зонах окисления руд образуется яблочно-зеленый аннабергит $(\text{Ni}_3[\text{AsO}_4](\text{H}_2\text{O})_8)$, который имеет в основном поисковое значение.

Генетические типы промышленных месторождений

Выделяют два генетических типа промышленных месторождений – магматические и кор выветривания (класс остаточных полезных ископаемых). Кроме того, никель попутно извлекается из комплексных руд плутоногенных гидротермальных месторождений пятиэлементной формации (Ni-Co-Ag-Bi-U). В ближайшие годы возможно промышленное освоение нептунических месторождений кобальто-марганцевых корок на дне Мирового океана.

Магматические (ликвационные) месторождения, формация сульфидных медно-никелевых руд. В них сосредоточено около 30% мировых запасов никеля. В России в сульфидных месторождениях заключено 89% разведанных запасов. Это месторождения Кольского п-ова (Печенга, Мончегорское, Аллареченское), Красноярского края (Норильское, Талнахское, Октябрьское), Воронежского кристаллического массива (Нижнемамонское, Еланское), Северного Прибайкалья (Чайское, Иоко-Давыренское), из зарубежных – Садбери (Канада), Бушвельд (ЮАР), Камбалда (Австралия).

Талнахское рудное поле. Класс ликвационных полезных ископаемых. Рудная формация сульфидная медно-никелевая. Расположено на северо-западе Сибирской платформы близ устья реки Енисей. Талнахское месторождение (рис. 2.6.) связано с межпластовым дифференцированным базит-гипербазитовым интрузивом, залегающим в основании трапповой серии. Рудоносный интрузив состоит из отдельных ветвей, расходящихся от предполагаемого подводящего канала. Отдельные массивы часто соединяются между собой, имеют пластообразную, лентовидную форму с раздува-

ми в прогибах подошвы. Протяженность интрузивных тел достигает многих километров, мощность составляет 200-250 м.

В экзоконтактовой зоне интрузивов наблюдается скарнирование, участки контактового метаморфизма.

В расслоенных телах наблюдается смена (сверху – вниз) горизонтов: эруптивные брекчии, габбро-долериты, долериты, оливиновые долериты, пикритовые долериты, оливиниты и др.

Основная масса сульфидных медно-никеливых руд локализуется в области нижнего эндо - и экзоконтакта никеленосных массивов (рис. 2.7.). Прожилково-вкрапленные руды локализуются в экзоконтактовой зоне измененных (скарнированных, серпентинизированных) осадочных пород. Тела имеют пластообразную и линзовидную форму, контуры их в плане повторяют контуры интрузии. Выделяются три типа руд: вкрапленные (77% от общей массы руды), массивные сульфидные руды в приподошвенной части интрузива (10%), вкрапленно-прожилковые в породах экзоконтакта (13%).

В составе руд преобладает пирротин, пентландит, халькопирит, широко развиты кубанит, магнетит, ильменит. К числу редких относятся пирит, ковеллин, борнит, платиноиды и др.

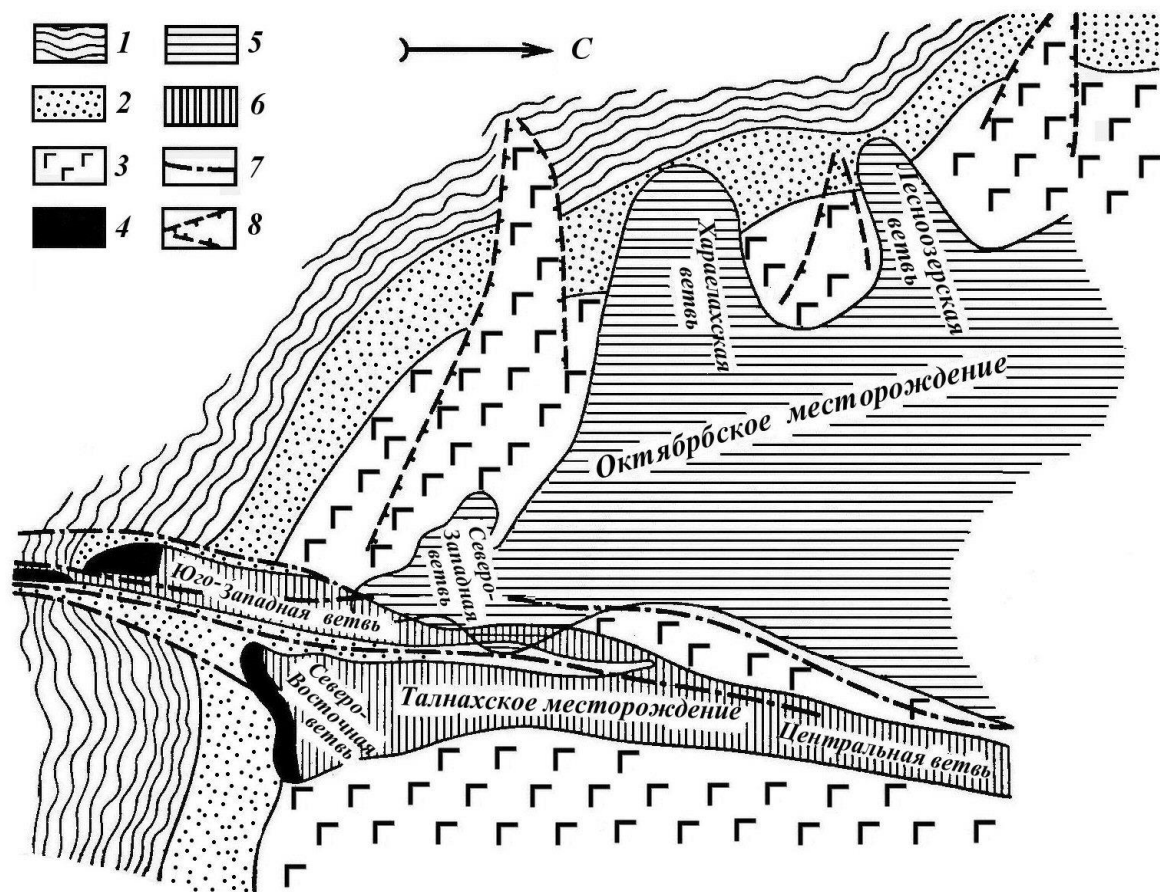


Рис. 2.6. Схема геологического строения Талнахского рудного поля. По В. Кравцову и др.

1 – средне-нижнепалеозойские карбонатно-мергелистые отложения; 2 – терригенные осадки тунгусской серии; 3 – вулканогенная толща нижнего триаса; 4 – **выходы рудоносной интрузии под четвертичные отложения**; 5 – площадь распространения ветвей нижнего рудного этажа; 6 – площадь распространения ветвей верхнего рудного этажа; 7 – тектонический шов Центрального грабена; 8 – трещинно-блоковые просадочные структуры.

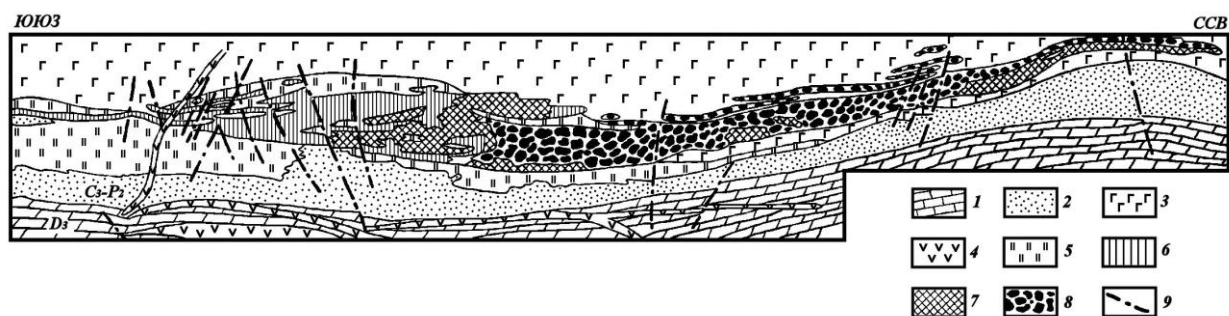


Рис. 2.7. Схема геологического строения залежи сплошных руд в юго-западной части Талнахского месторождения. По Л. Сухову и В. Изойтко.

1 – доломиты, мергели; 2 – песчаники, алевролиты, аргиллиты; 3 – габбро-долериты Талнахской интрузии; 4 – долериты недифференцированных силлов; 5 – контактово-измененные породы; 6 – пентландит-халькопирит-пирротиновые руды; 7 – пентландит-халькопирит-пирротиновые-кубанитовые руды; 8 – пентландит-кубанит-халькопиритовые руды; 9 – тектонические нарушения

В восточной части территории Воронежской области, в пределах которой в период 1965-1990 годов выявлена новая - Воронежская никеленосная провинция России, в ее пределах выявлено более 100 базит-гипербазитовых массивов. Разведаны Подколодновское, Нижнемамонское, Еланское и др. месторождения ликвационных медно-никелиевых руд.

Еланское месторождение (формация сульфидная медно-никелевая) приурочено к выходу норит-диоритовой фазы (площадью 5 км²) на северо-восточном фланге крупного (120 км²) Елань-Коленовского многофазного мафит-ультрамафитового плутона, выявленного на поверхности докембрийского кристаллического фундамента под осадочным чехлом мощностью около 250 м. Плутон имеет кольцевое строение. В центральной части преобладают диориты с реликтами вмещающих пород (метаморфические породы воронцовской серии раннего протерозоя), периферия массива сложена норитами.

Месторождение состоит из ряда уплощенных столбообразных залежей, имеющих субширотное простирание и падающих на восток под углом 75-89°. Рудные тела оконтуриваются только по данным опробования, внутри них выделяются безрудные блоки норит-порфиров и дайки диоритов. Протяженность рудных тел по простиранию 400-650 м, по падению - более 1300 м, вариации мощности 25.6 - 77.3 м. Типы руд: вкрапленные, вкрапленно-мелкогнездовые, вкрапленно-прожилково-пятнистые, брекчиевидные и массивные.

Главные рудные минералы: – пирротин, пентландит, халькопирит;

второстепенные и редкие: никелин, кобальтин, арсенопирит, пирит, виоларит, аргентопентландит, хромшпинелиды, ильменит, титаномагнетит, магнетит, золото, платина и др.

Большая часть никеля (58%) заключена в богатых рудах (при содержании 1.8% и более). Извлекаемость никеля высокая (90%). В настоящее время месторождения Воронежской никеленосной провинции не разрабатываются.

Месторождения никеля остаточного класса (формация силикатных никелевых руд) формируются при латеритном выветривании ультрабазитов. По форме и условиям залегания выделяют три морфологических типа месторождений: площадные; линейные (линейно-трещинные и контактово-карстовые); линейно-площадные.

Месторождения площадного типа характеризуются плащеобразной формой, мощность их 3-20 м. Нижний контакт имеет сложные очертания из-за многочисленных карманообразных углублений. Никелевые месторождения линейного типа свойственны районам с развитыми зонами тектонических нарушений. Рудные тела имеют сложную морфологию, нередко образуют параллельные крутопадающие тела мощностью от 1 до 50 м.

Никель представлен гарниеритом, ревдинскитом, непуитом, частично сорбируется глинами и входит в состав нонтронита, вермикулита, хлорита, ассоциирует с асболоном. Несколько раньше никеля и кобальта на более высоких уровнях осаждаются гидроксиды железа, а позже других и глубже выпадает магний с образованием магнезита.

Полезными компонентами руд являются никель и кобальт, соотношения между которыми колеблются в широких пределах от 10:1 до 30:1.

На территории России месторождения силикатных никелевых руд имеют ограниченное значение. Промышленные никеленосные коры известны на Среднем и Южном Урале (Кемпирсайское, Серовское, Сахаринское,

Погожинское, Черемшанское). Наиболее крупные месторождения расположены в современной тропической зоне. Это всемирно известные месторождения Новой Каледонии, Филиппин, Австралии, Кубы, Бразилии и других стран (рис. 2.8.).

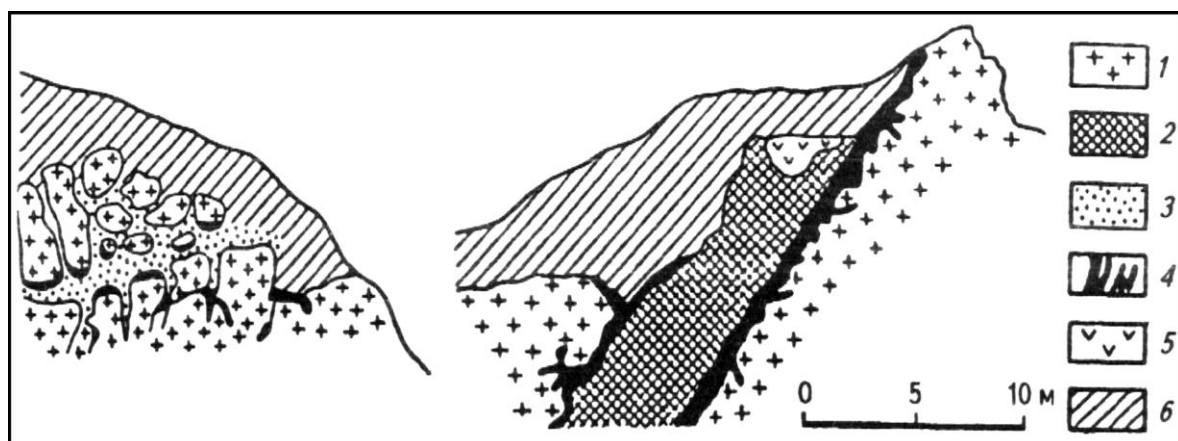


Рис. 2.8. Два разреза гарниеритовых месторождений в Новой Каледонии (по Е.Глассеру): 1 - серпентиниты, перидотиты; 2, 3 - руды: 2 - брекчиевые, 3 - брекчиевидные и порошковатые; 4 - скопления зеленого гарниерита; 5, 6 - красная земля: 5 - никеленосная, 6 - безрудная.

Кобальт

Кобальтовые краски использовались в глубокой древности. Металлический кобальт впервые получен в 1735 г. Резкий рост потребления кобальта относится к началу XX в. В настоящее время свыше 40% Co используется для производства сплавов, сверхтвердых сплавов и суперсплавов Co с Ni, Fe, Cr, W, Mo.

Мировые запасы Co (без стран СНГ) около 4 млн. т. Наиболее богаты кобальтом Заир, Куба, Замбия, Новая Каледония, Канада, Австралия, Филиппины, Индонезия. В недрах этих стран заключено 83% общих и 87% подтвержденных мировых запасов кобальта.

Россия располагает значительными запасами кобальта, сосредоточенных в Норильском рудном районе (72% общих запасов кобальта России), в Печенгском рудном поле (Мурманская область), в Уфалейском рудном районе Урала. В силикатных кобальто-никелевых рудах заключено 12% запасов кобальта России.

Кларк Co 18 г/т (0,0018%). Концентрируется кобальт в ультраосновных и основных породах. Постмагматические месторождения кобальта связаны с умеренно кислыми гранитоидами.

Промышленное значение имеют следующие минералы кобальта: кобальтистый пентландит $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_9\text{S}_8$, линнеит Co_3S_4 , кобальтин $\text{Co}[\text{AsS}]$, глаукодот $(\text{Co}, \text{Fe})\text{AsS}$, саффлорит $\text{Co}_4[\text{As}_{4-x}]_3$ шмальтин $(\text{Co}, \text{Ni})_4[\text{As}_{4-x}]_3$. асболан $m(\text{Co}, \text{Ni})\text{O} \cdot n\text{MnO}_2 \cdot p\text{H}_2\text{O}$, для зон окисления типичен эритрин $\text{Co}_3\text{As}_3\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, который имеет в основном поисковое значение.

Генетические типы промышленных месторождений

Среди промышленных месторождений кобальта и кобальтсодержащих руд выделяются: магматические, скарновые, плутоногенно-гидротермальные, вулканогенно-гидротермальные, стратиформные, кор выветривания (латеритные).

В мировом балансе запасов латеритные составляют 48,5% ; стратиформные (медно-кобальтовые) - 43,1%; сульфидные медно-никелевые 7,2%. Кроме этого, кобальт попутно извлекают из колчеданно-полиметаллических, скарново-магнетитовых и некоторых других типов руд (1% мировых запасов Co).

Крупномасштабные процессы концентрации кобальта происходят на дне Мирового океана в кобальтоносных корках и железо-марганцевых конкрециях. Среднее содержание Co в железо-марганцевых конкрециях составляет 0,27%, а в корках – 0,9%. По прогнозным оценкам промышленная разработка их может обеспечить до 14% мирового производства кобальта.

Магматические (ликвационные) месторождения (формация сульфидных медно-никелевых кобальтсодержащих руд). Содержание кобальта в рудах этих месторождений составляет 0,06-0,11%. Характеристика ликвационных месторождений приведена выше (см. «Медь», «Никель»).

Скарновые месторождения. Железорудные месторождения в известковых скарнах с кобальтсодержащими пиритами известны в Казахстане (Соколовско-Сарбайская группа), Азербайджане (Дашкесанское месторождение), Хакасии (Абаканское месторождение). В общем балансе запасов и производства кобальта роль их ничтожна.

Гидротермальные плутогенные месторождения связаны с гранитоидными интрузиями. Рудные тела в виде жил и штокверков локализованы в осадочных, метаморфизованных породах. Руды богаты кобальтом (содержание достигает нескольких процентов), но их экономическое значение невелико (0,5% запасов; 1,5% добычи).

Среди плутогенно-гидротермальных месторождений выделяются три рудные формации: шмальтин-хлоантит-никелин-аргентитовая (кобальтовая) – пример: Ховуаксы, Тува (рис. 2.9.); арсенопирит-глаукодо-кобальтиновая - Бу-Аззер, Марокко; пятиэлементная (Co, Ni, Bi, Ag, U) - Эльдорадо, Канада.

Плутогенно – гидротермальное месторождение Хоуваксы. Рудный район находится в Туве, сложен вулканогенными и осадочными толщами нижнего и среднего палеозоя (кембрий – нижний девон). Толщи образуют антиклиналь, прорванную каледонскими (460-480 млн. лет) лейкократовыми биотитовыми гранитами и дорудными дайками различного состава. Гидротермальные руды кобальта связаны с гранитоидными интрузивами. Оруденение контролируется крупным субмеридиональным разломом и локализовано в оперяющих его пологих и крутых трещинах скола (рис. 2.9.). Месторождение сформировалось в конце раннего – начале среднего девона.

Главные рудные минералы: никелин (NiAs), раммельбергит (Ni As_2), шмальтин ($\text{Co, Ni, Fe} [\text{As}_{4-x}]$) и др.; жильные – кальцит и доломит. В зоне окисления развиты эритрин («кобальтовые цветы»), анабергит и др. Отношение Co/Ni в рудах около единицы.

Плутоногенно гидротермальные руды подобных месторождений наиболее богаты содержанием кобальта (до нескольких процентов), но их экономическое значение ограничено запасами (0,5% от суммарных, добыча составляет 1,5% от общей).

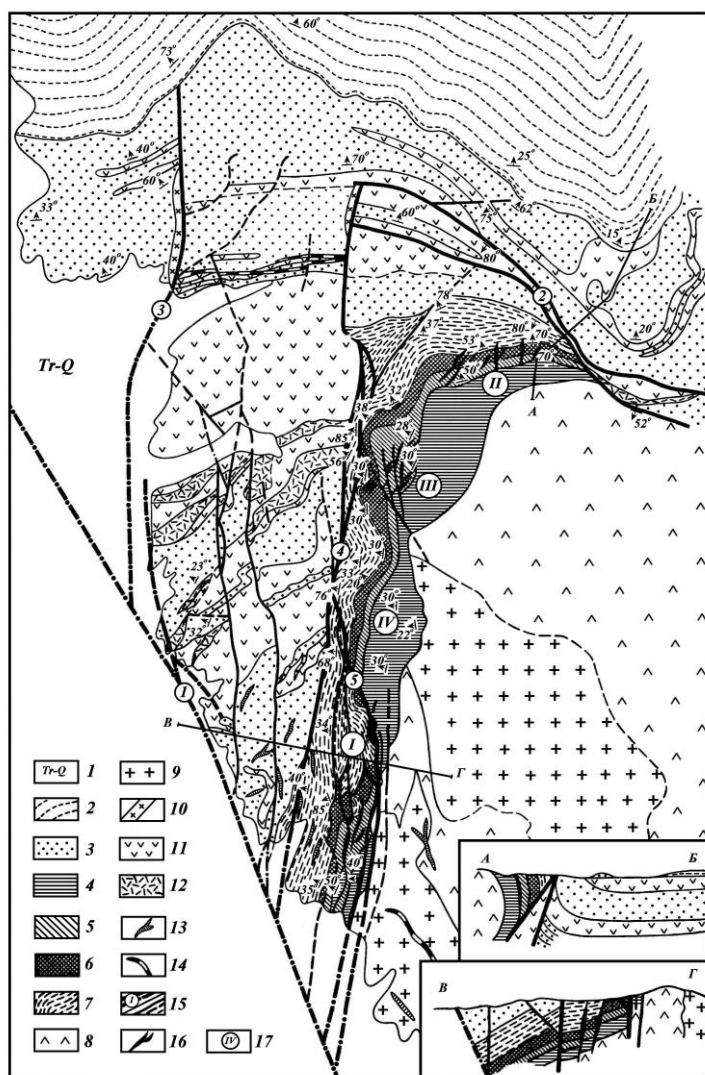


Рис. 2.9. Схема геологического строения Ховуаксинского рудного поля. По А. Богомолу.

1 – третичные и четвертичные отложения; 2 – живецкие осадочные отложения; 3 – нижнедевонские осадочно-вулканогенные породы; 4 – 7 – силу-

рийские породы: 4 – конгломераты, песчаники, алевролиты (пачка а), 5 – переслаивание скарнов и алевролитов (пачка б), 6 – скарны (пачка с), 7 – переслаивание алевролитов и песчаников (пачка d); 8 – вулканогенные породы нижнего кембрия; 9 – граниты; 10 – дайки трахитовых порфиров; 11 – субвулканические пластовые залежи диабазов, габбро-диабазов, диабазовых порфиров; 12 – субвулканические пластовые залежи андезитовых порфиров; 13 – дайки диабазов; 14 – дайки кварцевых порфиров; 15 – разрывные нарушения: а – первого порядка (1 – Юго-Западный разлом, 2 – Северный надвиг, 3 – Северо-Западный разлом, 4 – Западный разлом, 5 – Восточный разлом), б – разрывные нарушения разных порядков; **16 – рудные жилы**; 17 – участки восточного блока рудного поля: I – Южный, II – Северный, III – Средний, IV – Промежуточный.

Стратиформные месторождения. Стратиформные медно-кобальтовые месторождения Замбии и Заира – один из основных источников кобальта (более 44% запасов, почти 43% добычи). Руды характеризуются высоким содержанием кобальта 0,3%. Характеристика их приводится в разделе «Медь».

Месторождения выветривания (формация асболоновых руд). Латеритные никелевые месторождения включают в себе более 46% запасов кобальта и обеспечивают свыше 41% его добычи. Наиболее крупные месторождения находятся в Новой Каледонии, Индонезии, Кубе. Содержание Со в рудах не менее 0,1%.

2.2. Месторождения вольфрама, молибдена, олова

Вольфрам

Вольфрам в виде соединения WO_3 был открыт в 1781 г. Промышленное использование для легирования сталей началось с конца XIX в. Вольфрам применяется в производстве специальных сталей, присадка вольфрама к стали повышает ее твердость, прочность, тугоплавкость, это быстрорежущие, инструментальные, броневые стали, используемые в изготовлении оружия и снарядов. Вольфрам в сочетании с Cr, Ni, Co используется для из-

готовления жаропрочных и сверхтвердых сплавов – победитов, карбидов, боридов.

Общие запасы W в 40 странах мира (без России) оцениваются в 6,8 млн. т, разведанные составляют 3,6 млн. т. Ежегодное производство вольфрамовых концентратов 18-20 тыс. т. Наиболее крупные запасы находятся в Китае (34% запасов), Казахстане (18%), Канаде, США, Боливии, Южной Корее и Великобритании.

Россия занимает III место по запасам вольфрама (18%). Свыше 40% запасов находится на Северном Кавказе, 30% в Забайкалье, 10% в Приморье, 10% в Якутии. В России известно более 90 вольфрамовых месторождений, причем на долю 50 коренных месторождений приходится 99% суммарных запасов W и лишь 1% запасов заключено в россыпных месторождениях.

Кларк W 13 г/т (0,0013%). Эндогенные концентрации W связаны с гранитными магмами. Вольфрам легко образует летучие соединения с фтором, хлором, бором и выносится гидротермальными растворами. Устойчивость минералов вольфрама в экзогенных условиях определяет возможность формирования россыпных месторождений.

Основное промышленное значение среди минералов вольфрама имеют вольфрамит $(\text{Mn,Fe})[\text{WO}_4]$, ферберит $\text{Fe}[\text{WO}_4]$, гюбнерит $\text{Mn}[\text{WO}_4]$ и шеллит $\text{Ca}[\text{WO}_4]$.

Генетические типы промышленных месторождений вольфрама: скарновый, грейзеновый, плутоногенно-гидротермальный, вулканогенно-гидротермальный, стратиформный, россыпной.

Скарновые месторождения. Рудные тела приурочены к известковым скарнам, развивающимся вдоль интрузивных контактов. Рудные тела имеют форму пластообразных залежей, линз, гнезд. Протяженность рудных тел измеряется сотнями метров, иногда достигает первых километров, по паде-

нию они прослеживаются на несколько десятков, иногда сотен метров при мощности от 1-2 до 50 м.

Рудная минерализация приурочена к пироксеновым и гранат-пироксеновым скарнам. Руды характеризуются комплексным составом, среди них выделяются олово-вольфрамовые, молибден-вольфрамовые (Тырныауз) и полиметаллически-вольфрамовые. Кроме W, Sn и Mo в рудах содержатся Au, Cu. Главные рудные минералы – шеелит, молибденит, касситерит; в меньших количествах присутствуют магнетит, пирротин, пирит, висмутин, халькопирит, галенит и сфалерит.

Скарновые месторождения имеют важное промышленное значение, в них сосредоточено около 25,6% запасов вольфрама (55% разведанных запасов России), добыча составляет 32%. Наиболее известные скарновые месторождения находятся в Приморье (Восток II – рис. 9, Лермонтовское), на Кавказе (Тырныауз), в Средней Азии (Лянгар, Ингичке, Чорух-Дайрон), в Китае, Канаде, США.

Грейзеновые месторождения вольфрама генетически связаны с кислыми и ультракислыми лейкократовыми гранитами, обогащенными летучими компонентами: F, B, иногда калием и редкими щелочами. Оруденение приурочено к выступам, куполам и может быть локализовано как в самих куполах, так и породах кровли. Рудные тела имеют форму штоков, штокверков, реже жил или жильных зон. Последние прослеживаются по простиранию на десятки и сотни метров и до 300-500 м на глубину при мощности 0,3-0,5, реже до 1 м. Вмещающие породы грейзенизированы, наибольшим развитием пользуются кварц-топазовые, кварц-слюдистые, кварцевые грейзены.

В большинстве случаев месторождения имеют комплексный состав руд: олово-вольфрамовый или молибден-вольфрамовый. Главные минералы руд – вольфрамит, молибденит, касситерит. Жильные минералы представ-

лены кварцем, слюдами, плагиоклазом, микроклином, топазом, турмалином, флюоритом. Помимо Sn и Mo попутными компонентами являются Bi, Nb, Ta, Be, Au.

Грейзеновые месторождения играют существенную роль в балансе запасов вольфрама (42% запасов вольфрама зарубежных стран, 25% запасов России), но обеспечивают всего 6% добычи.

К числу наиболее известных районов их локализации относятся Забайкалье (Спокойнинское месторождение), Казахстан (Акчатау, Кара-Оба), Рудные горы Чехии и Германии, Монголия, Китай, Австралия.

Гидротермально - плутоногенные месторождения по составу руд, условиям локализации тесно связаны с грейзеновыми месторождениями. В отличие от последних они располагаются на большем удалении от куполовидных выступов рудоносных интрузивов. Нередко эти два типа совмещаются в одном месторождении, будучи связанными постепенными переходами.

Рудные тела представлены штокверками, чаще жилами. Протяженность жил составляет десятки и сотни метров, а их свиты прослеживаются на несколько километров. Средняя мощность – 0,5-1м, глубина по падению – 300-500 м.

Руды характеризуются комплексным составом, среди них выделяются кварц-вольфрамитовые, кварц-гюбнеритовые, касситерит-вольфрамитовые, кварц-сульфидно-вольфрамит-гюбнеритовые. Главные минералы руд – вольфрамит, касситерит, молибденит, висмутин; в меньшем количестве пирротин, пирит, арсенопирит, халькопирит, сфалерит, галенит. Жилы сложены в основном кварцем, которому сопутствуют турмалин, плагиоклаз, мусковит, микроклин, топаз, флюорит, апатит.

Вмещающие породы грейзенизированы, участками наблюдается турмалинизация, окварцевание, березитизация. Иногда на месторождениях

наблюдается зональность, связанная со сменой кварц-вольфрамитовой ассоциации сульфидной, кварц-флюоритовой и пострудной карбонатной.

Плутоногенные гидротермальные месторождения пользуются широким распространением, в них находится около 15% разведанных запасов и более 50% добычи вольфрама. Наиболее известные месторождения находятся на Чукотке (Иультинское), в Забайкалье (Холтосонское, Букука), Казахстане, Португалии, Великобритании, Франции, Канаде, Австралии.

Холтосонское месторождение (рис. 2.10.) расположено в пределах Джидинского рудного поля, в отрогах Джидинского хребта юго-западной части Бурятии вместе с группой вольфрамитовых (Инкурское) и молибденовых (Первомайское) месторождений.

Оруденение связано с гранит-порфирами Первомайского массива, возраст которого определен в 140 млн. лет (ранний мел). Наиболее богатое оруденение наблюдается до глубины 200 м от поверхности, ниже содержание вольфрама снижается в среднем в 1,5 раза. На месторождении известно 140 жил, половина которых имеет промышленное значение. Большая часть жил относится к сколовому типу, имеет субширотное простирание и падение к югу под углами $30-50^{\circ}$ (до $55-85^{\circ}$). Жилы характеризуются сложной морфологией; при средней мощности 0,8 м встречаются раздувы до 2 и даже 12 м. Это объясняется тем, что отложение рудного вещества происходило не только в открытых полостях, но и путем метасоматического замещения боковых пород, хотя и в меньших масштабах. Протяженность жил по падению в среднем в 2 раза превышает их длину по простиранию. Рудные жилы локализованы в полосе протяженностью около 2,5 км, приуроченной к зоне разлома северо-западного направления.

Рудный процесс проявлялся в последовательном формировании жил и прожилков различного состава. Наиболее ранними являются полевошпатовые жилы пегматоидного типа. Затем, вероятно, были образованы до-

вольно редкие кварцевые жилы с флюоритом и мелкие микролитовые прожилки, в которых в небольших количествах присутствует гюбнерит. И лишь после этих проявлений следует формирование промышленных кварц-сульфидно-гюбнеритовых жил, в которых, помимо главного жильного минерала кварца, присутствуют микроклин, жильбертит, серицит, флюорит, реже анкерит. Рудные минералы представлены гюбнеритом, пиритом, сфалеритом, галенитом, халькопиритом, шеелитом и др.

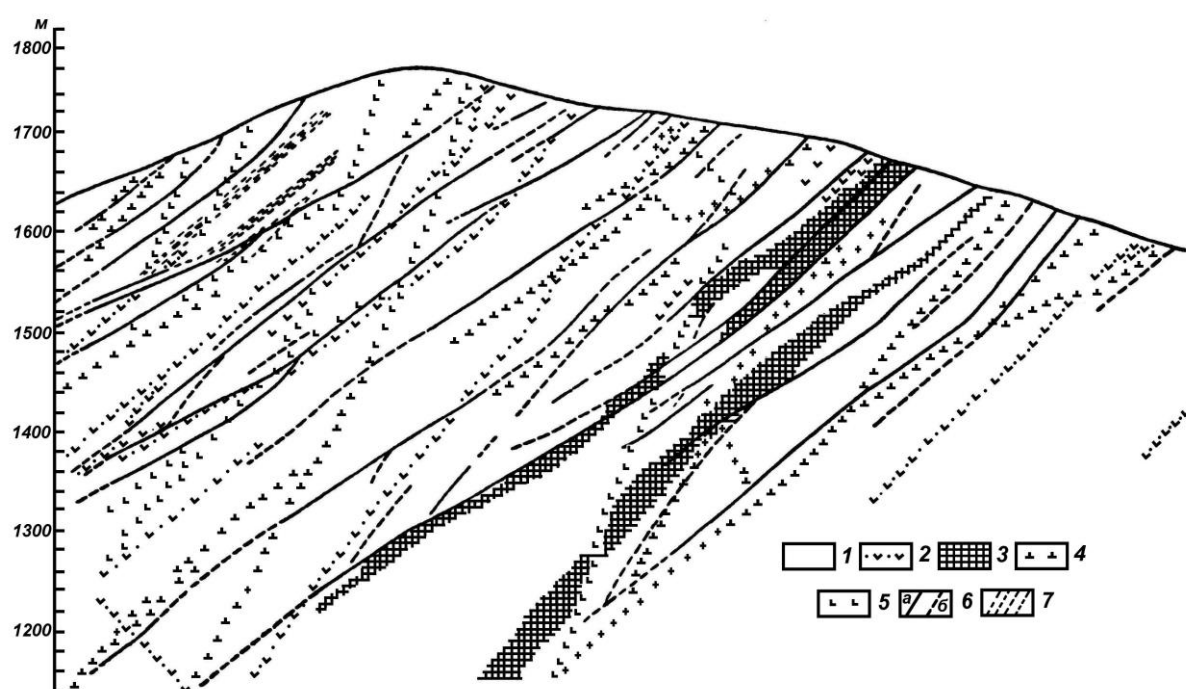


Рис. 2.10. Схематический геологический разрез через центральную часть Холтосонского месторождения. По А. Щеглову и Т. Буткевичу.

1 – кварцевые диориты; 2 – микродиориты и диоритовые порфириты; 3 – бостониты; 4 – серые сиениты; 5 – серые кварцевые сиенит-порфиры; 6 – установленные (а) и предполагаемые (б) кварц-сульфидно-гюбнеритовые жилы; 7 – тектонические зоны и нарушения.

Гидротермально - вулканогенные месторождения - редкий тип месторождений. Месторождения характеризуются комплексным составом

руд (Sn-W-Bi, Sn-Ag-W, Hg-Sb-W), в которых вольфрам имеет обычно подчиненное значение. Месторождения располагаются в областях современного и молодого вулканизма и обнаруживают связь с вулканитами андезит-дацит-риолитового состава. Рудоносными структурами служат вулканические купола, жерловые зоны. Рудные тела представлены штокверками и жильными зонами. Наиболее существенными по масштабам являются месторождения боливийского типа, охарактеризованные в разделе «Олово». Помимо этого известны месторождения киноварь-антимонит-шеелит-ферберитовые, которые как вольфрамовые большого значения не имеют.

Россыпи вольфрама тесно связаны с коренными грейзеновыми и плутогенными гидротермальными месторождениями, расположены в непосредственной близости от них и отрабатываются часто совместно с ними. Элювиальные и аллювиальные россыпи характеризуются небольшими масштабами. Содержание вольфрамита в них от 0,3 до 20 кг/м³. Месторождения известны в Магаданской области, Якутии, Забайкалье (Шерлова Гора), Казахстане, Китае, Бирме, Таиланде, США

Стратиформные месторождения. Этот генетический тип месторождений выделен сравнительно недавно – с 70-х годов. Примером может служить месторождение **Барун-Шивея** в восточном Забайкалье. Рудоносная свита предположительно позднерифейско-кембрийского возраста сложена полимиктовыми песчаниками, филлитами, углеродистыми сланцами, кварцитами с редкими прослоями известняков. Продуктивный горизонт представлен грубо-ритмичным чередованием кварцитов и кварц-слюдисто-графитовых сланцев, он прослежен по простиранию на 5,5 км. Все породы горизонта содержат повышенные концентрации С органического (2 – 3%) и вольфрама. Рудные тела выделены по данным опробования по простиранию на 1700 м, на глубину оруденение прослежено до 200 м. Главные рудные минералы: ферберит, антимонит, киноварь; присутствуют пирит, халькопи-

рит, сфалерит, арсенопирит и сидерит. Выделено три типа руд: прожилково-вкрапленные, полосчатые и брекчиевые.

Вероятно, месторождение образовано в результате первичного обогащения осадочных толщ вольфрамом, сурьмой и ртутью и последующим перераспределением и мобилизацией рудных компонентов при метаморфизме.

Молибден

Молибден был открыт в 1778 г. Широкое применение он нашел только в XX в. Свыше 80% всего добываемого молибдена используется в металлургической промышленности в основном для легирования сталей и получения суперсплавов.

Молибденовые стали приобретают высокую твердость, вязкость, тугоплавкость, кислотоупорность и ряд других ценных свойств.

Металлический молибден используется в производстве электроламп, электровакуумных приборов. Кроме этого он употребляется в химической, нефтеперерабатывающей, керамической, стекольной и других отраслях промышленности.

Мировые запасы молибдена (без стран СНГ) – 7 млн. т. Основная их часть (86%) находится на территории США, Чили, Китая, Канады. Годовое производство – 100 тыс. т. Главные производители молибденовых концентратов - США, Чили, Канада, Перу, Китай.

В России известно 9 месторождений, 7 из них крупные: Джидинская группа, месторождение Жирекен, Сорское, Тырныауз и др. Качество руд месторождений России довольно низкое. Среднее содержание Мо в рудах невелико. Месторождения находятся на удалении от промышленных центров переработки молибденовых концентратов. Однако, на территориях Мурманской, Свердловской, Челябинской областей и особенно на Дальнем

Востоке известно большое количество недостаточно изученных месторождений со значительными прогнозными ресурсами.

Кларк Мо - 0,0001%. Повышенные концентрации его связаны с кислыми и умеренно-кислыми породами, из которых он выносится постмагматическими гидротермальными растворами. При этом концентрации молибдена в магматических породах повышаются от более древних к молодым массивам. Молибден – типичный халькофильный элемент. Устанавливается две геохимические ассоциации: в гранитах – Мо, W, Sn, Bi, Be, As и гранодиоритах – Мо и Cu.

Известно около 20 минералов молибдена. Промышленное значение имеют: молибденит MoS_2 (часто содержит примесь Re), вульфенит PbMoO_4 , повеллит CaMoO_4 , последние являются вторичными минералами зоны окисления.

Генетические типы промышленных месторождений

Проявления молибденовой минерализации известны в месторождениях практически всех генетических типов, однако среди промышленных месторождений выделяются: скарновые, грейзеновые, плутоногенно-гидротермальные. Как попутный полезный компонент молибден присутствует в некоторых пегматитовых, карбонатитовых, альбититовых, колчеданных месторождениях. Кроме того, в ходе осадочного процесса молибден накапливается в углисто-кремнистых сланцах и углях. Они могут считаться резервом сырьевой базы молибдена.

В богатых рудах содержание Мо превышает 0,5%, в бедных 0,1-0,2%, в комплексных рудах промышленный интерес могут представлять содержания 0,1-0,02%.

В скарновых, грейзеновых и гидротермальных месторождениях заключено 94% запасов молибдена.

Скарновые месторождения (формация молибденоносных скарнов).

На долю скарновых месторождений приходится 2,1% суммарных подтвержденных запасов молибдена зарубежных стран. Для России значимость этого типа месторождений значительно выше – 10% запасов и 20% добычи.

Месторождения образуются в экзоконтактовых зонах гранитоидных массивов среди пород карбонатного или алюмосиликатного состава. Состав руд обусловлен составом и особенностями формирования рудоносных интрузий. Наиболее распространены молибденово-вольфрамовые скарновые месторождения, находящиеся в непосредственном контакте гранитоидных пород. Скарновые залежи характеризуются обычно небольшими размерами, сложной морфологией. В отличие от них залежи, образованные при замещении пластов карбонатных пород, более крупные, выдержанные. Рудные тела представлены гранат-пироксеновыми скарнами с эпидотом, везувианом. Главные рудные минералы – молибденит, шеелит, халькопирит, пирит, магнетит; второстепенные – сфалерит, галенит, блеклые руды; редкие – самородные висмут, серебро, золото. Содержание Мо колеблется на уровне 0,2-0,5%, содержание WO_3 0,5%.

Наиболее известное скарновое месторождение в России - Тырныауз (рис. 2.11) на Северном Кавказе. Месторождения известны в Хакасии, Казахстане, Китае, Средней Азии, США.

Месторождение Тырныауз (рудная формация шеелит-молибденитовая скарновая) Расположено на Северном Кавказе, к северу от Эльбруса на склоне Баксанского ущелья.

Площадь месторождения сложена метаморфизованными известняками, сланцами и песчаниками палеозоя и юры, собранными в систему широтных складок. Известняки образуют ядро антиклинали и крылья синклинали. Складки осложнены продольными сбросами и прорваны мезозойскими гранитами, с внедрением которых связано образование скарнов и руд.

Следуя складчатой структуре месторождения, пластообразная скарновая залежь повторяет контуры антиклинальной складки, образует мощный раздув в ее шарнире и распространяется на крылья синклинали (рис. 2.11.). Вольфрамовое оруденение, представленное шеелитом, тесно ассоциирует с пироксен-гранатовыми скарнами. Молибденовое оруденение более позднее, связано с волной окварцевания, охватившей как скарны, так и часть роговиков. Кроме молибденита присутствует молибдошеелит, в котором шестивалентный молибден замещает вольфрам.

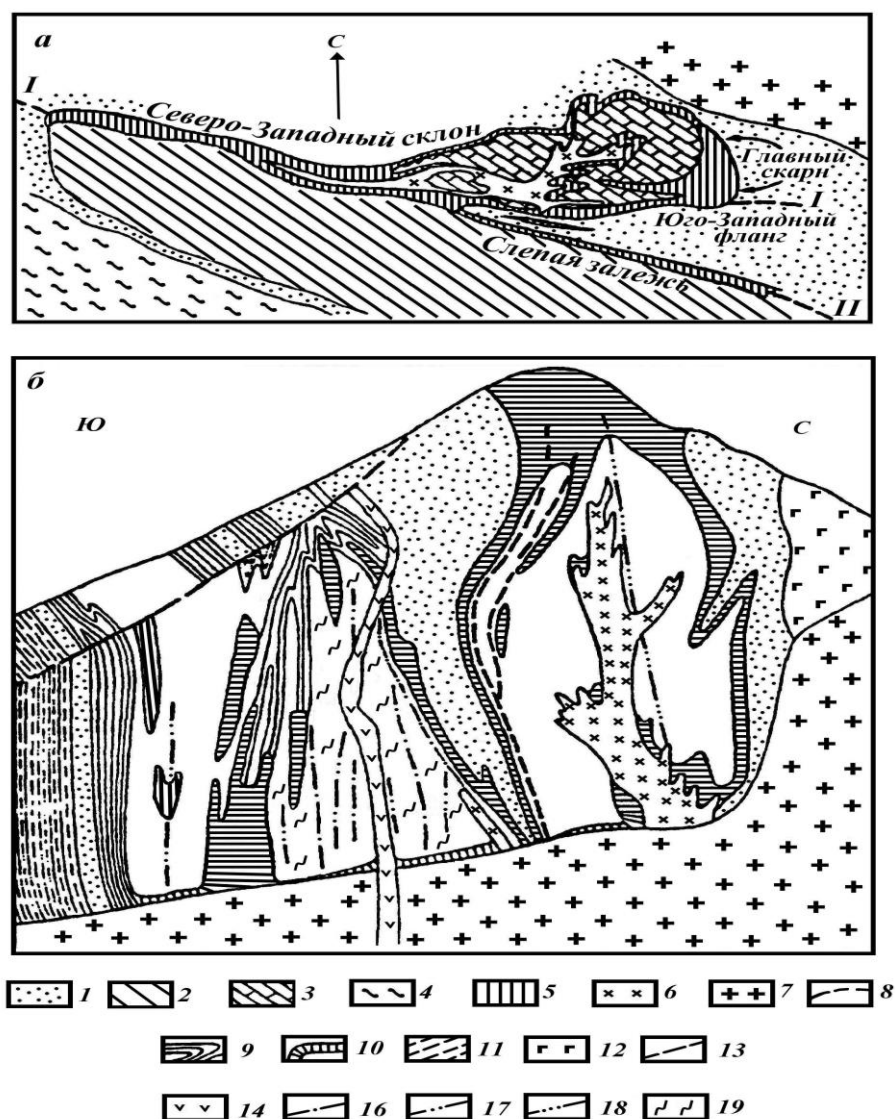


Рис. 2.11. Схематический геологический план одного из верхних горизонтов (а) и вертикальный разрез (б) месторождения Тырнауз. По А.В. Пэку и др.

1 – биотитовые роговики; 2 – мраморы слоистые; 3 – мраморы массивные; 4 – сланцы и конгломераты мукуланской свиты; 5 – скарны; 6 – лейкократовые граниты; 7 – эльджуртинские граниты; 8 – зоны разломов (I – Скарного, II – Слепой залежи); 9 – пироксен-плагиоклазовые и известково-силикатные роговики, местами скарнированные; 10 – скарны и пироксен-плагиоклазовые породы; 11 – сланцы. Песчаники и конгломераты раннеюрского возраста; 12 – кварцевые плагиопорфиры; 13 – разломы; 14 – липариты; 15 – 17 – осевые линии шарниров: 15 – ранних антиклинальных изоклинальных складок, 16 – синклинальных, 17 – поздних наложенных складок; 18 – схематическое изображение складок волочения.

Грейзеновые месторождения для молибдена имеют небольшое практическое значение. В основном это комплексные W-Mo месторождения, а также W-Sn с молибденом, висмутом и редкими металлами. Грейзеновые месторождения образуют жильные, штокверковые тела или залежи трубообразной формы. Оруденение локализуется в купольных структурах рудоносных гранитоидов, проникая в них на 300-500 м и в надкупольных роговиках.

Молибденовые, часто вольфрам-молибденовые грейзеновые месторождения известны в Забайкалье (Первомайское), Центральном Казахстане (Восточный Коунрад, Акчатау).

Плутоногенно-гидротермальные месторождения составляют основу минерально-сырьевой базы молибдена. Среди них выделяются две главные формации: формация кварц-молибденитовых жильных руд и формация кварц-молибденит-халькопиритовая штокверкового типа.

Месторождения кварц-молибденитовой формации тяготеют к ореолам гранитов, расположены чаще в зоне эндоконтакта интрузий, представлены жилами и штокверками. Главный рудный минерал – молибденит, иногда с вольфрамитом; второстепенные – касситерит, шеелит, пирит, арсенопирит, висмутин; жильные – кварц, калиевый полевой шпат и плагиоклаз; второстепенные – мусковит, турмалин, флюорит. Вмещающие граниты часто

грейзенизированы. Вертикальная зональность обычно заключается в смене снизу вверх молибденового оруденения вольфрам-молибденовым.

Месторождения этой формации распространены на Дальнем Востоке, в Забайкалье, Горном Алтае, Казахстане.

Формация прожилково-вкрапленных руд. Среди них выделяется два типа: штокверковые медно-молибден-порфировые (:67,8% запасов Мо зарубежных стран) и штокверковые собственно молибден-порфировые месторождения (24% запасов). Оба типа характеризуются высокой степенью концентрации запасов. Крупнейшие месторождения медно-молибденовых руд известны в Чили (Чукикамата и Эль-Тениенте), а молибден-порфировые в США (Клаймакс и Гендерсон).

Оруденение связано со штоками порфировых интрузий и локализовано в эндо- и экзоконтактовых зонах. Рудные тела представлены штокверками. Границы проводятся по данным опробования. Штокверки имеют размеры в поперечнике от сотен метров до первых километров. В них развиты кварц-сульфидные прожилки мощностью от 1-2 мм до 2-3 см, а также вкрапленность сульфидов.

Минеральный состав руд собственно молибденовых месторождений определяется наличием молибденита, ассоциирующего с пиритом. Медно-молибденовые отличаются более сложным минеральным составом руд: в них развиты халькопирит, борнит, блеклые руды, галенит, сфалерит. Главные жильные минералы - кварц и серицит.

Среднее содержание Мо в молибден-порфировых месторождениях колеблется от 0,05 до 0,5%, в медно-молибден-порфировых от 0,005 до 0,025%. В рудах в переменных количествах содержатся Au, Ag, Re, Se, Te, Bi.

Молибден-порфировые месторождения известны в Забайкалье (Жирекен), крупнейшие в США (Клаймакс, Гендерсон), большие запасы из-

вестны в Канаде, Китае, Монголии. Медно-молибден-порфировые месторождения широко распространены в мире. В России наиболее значительным является Сорское месторождение в Кузнецком Алатау, в Армении (Каджаран и др.). Наиболее крупными в мире являются месторождения Чили (Чукикамата, Эль-Тениенте и др.), Канады, США, Мексики, Китая.

Олово

Олово – один из первых металлов, освоенных человеком. Применение его в сплавах с медью определило целую эпоху в развитии человечества, получившую название «бронзовый век» со второй половины IV тысячелетия до IX-VIII в. до н. э.

Химическая устойчивость Sn, нетоксичность его солей и сплавов обусловили широкое применение его в виде белой жести в консервной отрасли промышленности (32% добычи). Кроме того, олово используется для получения бронз, латуни, баббитов (22%), припоев (29%), типографских шрифтов и химической промышленности (15%), в производстве красителей, в стекольной и текстильной отраслях промышленности.

Общие запасы Sn в недрах 34 стран мира оцениваются в 10,4 млн. т, разведанные составляют 8,2 млн. т. В 10 ведущих странах (Китай, Бразилия, Малайзия, Индонезия, Таиланд, Боливия, Перу, Россия, Конго, Австралия) сосредоточено 89% суммарных мировых разведанных запасов олова.

В России 86% разведанных запасов приходится на коренные месторождения, тогда как в зарубежных странах ведущее место занимают россыпи (58,8%), особенно велико их значение для стран Азии (до 80,5%). Ежегодное производство касситеритовых концентратов колеблется от 160 до 200 тыс. т.

Кларк Sn 2, 5 г/т (0,00025%). Наиболее высокие содержания отмечают в кислых магматических породах. Будучи литофильным элементом, оло-

во обладает и халькофильными свойствами в зависимости от режима серы и кислорода. Олово выносится из магматического очага гидротермальными растворами. В экзогенных условиях касситерит устойчив и образует россыпи.

Из 20 минералов олова промышленное значение имеет касситерит SnO_2 , в меньшей степени используется станнин $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ и некоторые другие более редкие минералы.

Олово извлекают из оловянных и комплексных олово-вольфрамовых, олово-серебряных и олово-полиметаллических руд. Богатые руды коренных месторождений содержат более 1% олова, рядовые – 0,4%, бедные – 0,1 - 0,4%. Россыпи разрабатываются при содержании касситерита 100-200 г/м³, иногда оно может достигать кг/м³ породы.

Генетические типы промышленных месторождений

Генетические типы месторождений олова достаточно разнообразны: пегматитовые, скарновые, грейзеновые, плутоногенные гидротермальные, вулканогенные гидротермальные, россыпные. Наиболее значимы плутоногенно-гидротермальные и грейзеновые месторождения, различие которых не всегда определяются однозначно.

Пегматитовые месторождения располагаются в зонах эндо- и экзоконтакта гранитных массивов. Большая их часть приурочена к структурам докембрия и нижнего палеозоя. Промышленные концентрации отмечаются преимущественно в пегматитах натрово-литиевого типа. Пегматиты образуют жильные, штокообразные, линзо- гнездообразные тела, группирующиеся в протяженные пояса. Оловоносными являются пегматиты, которые подверглись процессам альбитизации и грейзенизации. В рудах кроме касситерита присутствуют сподумен, петалит, амблигонит, реже встречаются вольфрамит и танталит. Нерудные минералы представлены кварцем, микроклинном, альбитом, турмалином, топазом, флюоритом. Касситерит отли-

чается неравномерным, гнездовым распределением, образует крупные кристаллы, характеризуется повышенной концентрацией Ta, Nb, Zr, Cs.

Пегматитовые месторождения невелики по запасам, содержания олова низкие и практическое значение их небольшое, но они служат источником образования россыпных месторождений.

Пегматитовые месторождения известны в Восточной Сибири, Забайкалье, на Балтийском щите и Рудном Алтае, наиболее развиты в Заире (Манно-Китотоло), Намибии, Замбии.

Скарновые месторождения связаны с умеренно-кислыми гранитоидами. Оруденение приурочено к известковым и магнезиальным скарнам. Рудные тела имеют пластообразную, иногда трубообразную форму, обычно невыдержанные. Месторождения характеризуются комплексным составом руд (Sn-W, Sn-Cu, Sn-Pb-Zn). Минеральный состав касситерит, магнетит, разнообразные сульфиды, реже висмутин, блеклые руды. Оловянная минерализация является наложенной на скарны.

Руды вкрапленные, труднообогатимые, содержание Sn в среднем 0,3-0,5%

Скарновые месторождения известны в Приморье (Ярославское), Карелии (Питкяранта, Кителя), Средней Азии (Майхура), в Канаде, Австралии, Великобритании и других странах. Промышленное значение их невелико.

Грейзеновые месторождения олова связаны с гранодиорит-гранитными формациями, представленными обычно крупными многофазными батолитами, наиболее характерными для герцинской и киммерийской эпох.

Месторождения приурочены к апикальным частям отдельных штоков, куполов, апофиз поздних лейкократовых аляскитовых разностей. Рудные тела представлены штокверками, жилами, трубообразными телами. Форма обычно сложная. Глубина оруденения небольшая: 50-100 м. Руды массив-

ные, вкрапленные, среднее содержание Sn 0,3-0,5%. Месторождения мелкие и средние по запасам, на их долю приходится 15,6% запасов, но 70% их сосредоточено в одном недавно открытом месторождении Питинга в Бразилии.

Грейзеновые месторождения обычно комплексные. Помимо Sn в рудах содержатся W, Mo, Li, Ta, Nb, TR, флюорит. Главные минералы руд - касситерит, вольфрамит, циннвальдит; второстепенные – магнетит, пирротин, молибденит, халькопирит, сфалерит, галенит и др. Большой части месторождений свойственна зональность, выраженная в уменьшении содержания Sn и увеличения сульфидной минерализации от центра к периферии штокверка.

Грейзеновые месторождения известны в Забайкалье (Этыка), Якутии (Бутугычаг), на Чукотке (Иультин). Крупные месторождения известны в Бразилии, Канаде, Франции, более мелкие в Германии и Чехии и других странах.

Гидротермальные (плутоногенные) месторождения олова – наиболее распространенная группа. В ней выделяется несколько рудных формаций.

Месторождения кварц-касситеритовой формации генетически связаны с гранодиорит-гранитными, гранодиорит-лейкогранитными магматическими формациями, свойственными структурам тектоно-магматической активизации на щитах и платформах. Глубина распространения промышленного оруденения достигает нескольких сотен метров. Месторождения кварц-касситеритовой формации (Иультин, Пыркакайское на Чукотке и другие) характеризуются простым составом: на 90-95% состоят из кварца, помимо касситерита присутствуют вольфрамит, флюорит. Содержание олова - 0,3-0,8%, часто отмечаются промышленные концентрации вольфрама.

Рудные жилы сопровождаются грейзенизацией и турмалинизацией. В суммарных значениях зарубежных стран они составляют 3,9%.

Месторождения силикатно-касситеритовой формации связаны с интрузивными комплексами габбро-гранодиорит-гранитовых и диорит-монцогранодиорит-гранитных формаций. В рудах содержится значительное количество сульфидов. Масштабы месторождений средние и крупные, качество руд высокое: содержание олова 0,6-1% и более. В переменных количествах присутствуют Zn, Cu, Pb. В России эти месторождения содержат более 50% запасов и обеспечивают свыше 60% общего объема добычи.

Среди месторождений силикатно-касситеритовой формации нередко встречается многосульфидный (сульфидно-касситеритовый) тип (Эгехая, Фестивальное месторождение и др.). Руды отличаются резко повышенным количеством сульфидов железа, меди и цинка. Минеральный состав руд очень сложный.

Плутоногенно-гидротермальные месторождения различных формаций распространены на востоке России – на Чукотке (Пырकाкайское, Валькумей), в Забайкалье (Хапчеранга, Шерлова Гора), Якутии (Депутатское, Эгехая), Приамурье (Солнечное, Фестивальное), Приморье (Хрустальное, Дубровское). За рубежом наиболее значительные месторождения этого типа находятся в Великобритании, Австралии, Канаде.

Гидротермальные (вулканогенные) месторождения олово-серебряной формации. Руды этих месторождений отличаются не только большим содержанием сульфидов, но широким развитием сульфидных и сульфосольных минералов олова. Месторождения связаны с вулканоплутоническими и вулканогенными формациями: с кислыми и умеренно кислыми комплексами - риолитами, риолит-дацитами и дацитами. Месторождения относятся преимущественно к альпийской и отчасти киммерийской эпохам.

В России известны лишь мелкие и средние месторождения этого типа в Малом Хингане (Джалинда, Хинганское), за рубежом – в Боливии (Льяль-ягуа, Потоси и др.), Мексике, Японии, Австралии, Китае.

Рудные тела представлены жилами, часто ветвящимися, оруденелыми зонами дробления, штокверками. Руды сложные комплексные: наряду с Sn из них извлекаются Ag, Pb, Zn, Cu, Bi. Содержание окисного олова 0,3-0,4%, сульфидного – 0,1-0,2%. Главные минералы руд – касситерит (иногда деревянистое олово), станнин, висмутин, арсенопирит, пирротин. Второстепенные минералы – вольфрамит, халькопирит, галенит, сфалерит, пираргирит, аргентит, буланжерит, джемсонит, самородное серебро. Развита каолинит, дикиит, опал, халцедон, флюорит.

Рудообразование происходило в условиях небольших глубин (от 100-200 до 700-800м от поверхности) при быстром падении температуры.

Крупные месторождения боливийского типа размещаются в неогеновых вулканических поясах. Они заключают 12,8% мировых запасов и 4,8% добычи. Их отличительные особенности: приуроченность к жерловым зонам, выполненным штоками кварцевых порфиров; интенсивное развитие гидротермальных изменений.

Россыпные месторождения. Россыпным месторождениям принадлежит ведущая роль в запасах (58,6%) и производстве касситеритовых концентратов (78%) в зарубежных странах. На территории России россыпных месторождений мало, и они отличаются небольшими запасами и низкими содержаниями.

Наиболее крупные россыпные месторождения известны в Бразилии (Питинга), Китае (Гэцзю), Индонезии (месторождения о. Банка), Малайзии, Таиланде. Среднее содержание касситерита в них 0,6 кг/м³.

Наиболее благоприятны для россыпеобразования штокверковые месторождения, в рудах которых касситерит отличается большой крупностью.

Аллювиальные россыпи пользуются наиболее широким распространением, они образуются в различных климатических зонах. Россыпи характеризуются хорошей сортированностью материала, окатанностью зерен касситерита, равномерным распределением его и приуроченностью к приплотиковой части россыпи. Наибольшее промышленное значение имеют долинные россыпи, в особенности древние. Мощность продуктивных пластов изменяется от долей метра до первых десятков метра. Среднее содержание касситерита – 0,6-0,8 кг/м³. Наряду с касситеритом в ряде случаев извлекаются ильменит, вольфрамит, монацит и другие минералы.

В России промышленные аллювиальные россыпи известны в Пыркайском рудном узле и районе Депутатского месторождения. На базе аллювиальных россыпей в России производится треть оловоносных концентратов.

Прибрежно-морские россыпи касситерита пользуются широким распространением и имеют важное промышленное значение. Длительного переноса касситерит не выдерживает, поэтому оловосодержащие россыпи в береговой зоне сохраняются лишь при их быстром захоронении. Крупнейшей оловоносной провинцией является Бирмано-Малайско-Индонезийский оловянный пояс, в пределах которого сосредоточены россыпи аллювиально-морского и прибрежно-морского генезиса. Совместно с касситеритом добываются монацит, вольфрамит, циркон, ильменит, золото, рутил, колумбит, танталит.

2.3. Месторождения алюминия, свинца и цинка

Алюминий.

Алюминий - самый распространенный химический элемент в земной коре. Его вдвое больше чем железа. Однако в чистом виде его удалось получить только в 1825 году датскому физику Эрстеду. Долгое время алюми-

ний был дорже золота, потому что выделить металл из оксида оказалось очень трудно. Промышленный алюминий был получен в 1865 году русским химиком Н.Бекетовым. В конце XIX в. его способ получения алюминия нашел применение в Германии и Франции. В 1886 году в США был изобретен способ получения алюминия путем электролиза криолито-глиноземных расплавов.

Получение алюминия из природного сырья требует очень больших затрат электроэнергии. В настоящее время на получение одной тонны металла требуется 15 тысяч киловатт-часов (Леенсон, 2016)

Алюминий называют «крылатым металлом». Низкая плотность (2,7 г/см³), большая коррозионная устойчивость, достаточная механическая прочность, особенно в сплавах с Cu, Si, Mg, Mn, Zn, Ni и другими металлами, высокая электропроводность обеспечили его широкое применение в авиационной, автомобильной, электротехнической отраслях промышленности, на транспорте, в строительстве, при изготовлении упаковочных материалов. Некоторые сорта бокситов используют для производства абразивов и огнеупоров. Большое количество гидрооксида алюминия используется для очистки сточных вод.

Общие запасы бокситов, оцененные в 58 странах мира, составляют примерно 69 млрд. т, более 90% мировых общих запасов сосредоточено в странах с тропическим и субтропическим климатом.

Уникальными запасами обладают Гвинея, очень крупными Австралия, Бразилия, Вьетнам, Индия, Индонезия. В недрах этих стран заключено 63% мировых запасов. Наиболее крупными подтвержденными запасами обладают Гвинея (20,8% мировых), Бразилия (14,6%), Австралия (11,3%), Ямайка (7,4%), Камерун (6,1%), Мали (4,5%). Производство Al составляет примерно 20 млн. т. в год.

В России ощущается острый дефицит алюминиевого сырья, ее доля в мировом балансе запасов не достигает и 1%. Наиболее высоким качеством обладают диаспоровые бокситы Северного Урала, наиболее перспективна Среднетиманская группа месторождений.

В России используются нефелинсодержащие породы - уртиты и нефелиновые сиениты.

Кларк Al 8,05%. В эндогенных условиях алюминий концентрируется в щелочных нефелин- и лейцитсодержащих породах и анортозитах. Он накапливается также при процессах алунитизации, связанных с гидротермальной переработкой кислых вулканических образований. В экзогенных условиях алюминий накапливается в латеритной коре выветривания, в форме коллоидных соединений мигрирует и осаждается в прибрежной зоне водоемов.

Алюминий входит в состав около 250 минералов. Промышленное значение имеют: бемит и диаспор $\text{AlO}(\text{OH})$, гиббсит (гидраргиллит) $\text{Al}(\text{OH})_3$, нефелин $\text{Na}_3[\text{AlSiO}_4]_4$, лейцит $\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$ и алунит $\text{KAl}_3(\text{OH})_6[\text{SO}_4]_2$. Перспективны для извлечения алюминия кианит, силлиманит, андалузит и каолинит.

Генетические типы промышленных месторождений

Для получения алюминия в настоящее время различают традиционные бокситовые и небокситовые виды минерального сырья. Все промышленные типы бокситовых месторождений относятся к экзогенным образованиям. Они подразделяются на месторождения выветривания и осадочные. Месторождения выветривания в свою очередь делятся на остаточные латеритные и остаточные переотложенные, а осадочные – на залегающие в терригенных толщах платформенных областей и связанные с карбонатными толщами складчатых областей.

Месторождения небокситовых видов алюминиевого сырья делятся на пять генетических групп: 1) магматическую, 2) гидротермальную (алунитовые руды); 3) экзогенную (каолиновые глины и др.); 4) метаморфическую (кианитовые сланцы и др.); 5) геотехногенную (отходы металлургических и горнодобывающих предприятий).

Месторождения выветривания (остаточные) образуются при латеритном выветривании алюмосиликатных пород щелочного, среднего и кислого, иногда основного состава в условиях тропического и субтропического климата. Основными рудообразующими минералами являются гиббсит с примесью бемита. Цвет бокситов обычно светло-розовый, бурый или красновато-коричневый за счет примеси гидрооксидов железа. Бокситы характеризуются высоким содержанием глинозема (51-62%), низким содержанием кремнезема (1-2%), оксидов железа (2-6%) и титана (2-3%).

подавляющая часть мировых запасов (88%) заключена в месторождениях латеритного типа. Основное их количество располагается в Африке, Индии, Южной Америке, Австралии. К латеритному типу относятся и погребенные месторождения России (Висловское - рис. 2.12.), Шебекинское, выявленные в пределах Белгородского района КМА.

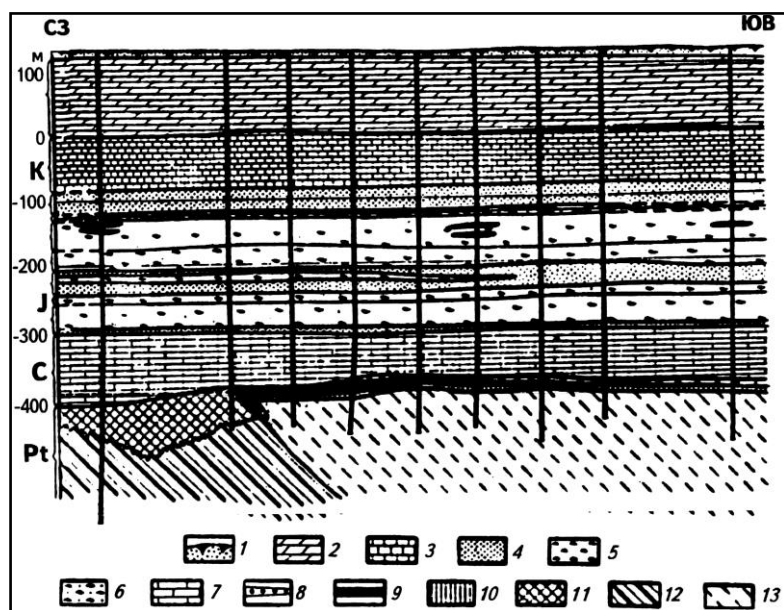


Рис. 2.12. Геологический разрез Висловского месторождения по В.Н. Клеклю и В.И.Сиротину: 1 - четвертичные суглинки; 2 - мергели; 3 - мел; 4 - пески; 5 - глины; 6 - глинистые пески, песчаные глины; 7 - известняки; 8, 9 - бокситы; 10 - аллиты; 11 - мармитовые и мартит-гидрогематитовые

руды; 12 - магнетитовые кварциты; 13 - филлитовидные и хлорит-серицитовые сланцы.

Осадочные платформенные месторождения залегают в континентальных отложениях преимущественно озерно-болотной фации, часто связаны с угленосными осадками. Они приурочены к краевым частям синеклиз, к эрозионно-тектоническим котловинам и долинам.

Форма рудных тел – пласты и линзы. По составу бокситы относятся к гиббсит-бемит-каолиновому типу. По текстурным признакам среди них различают: обломочные, оолито-бобовые и тонкодисперсные (пелитовые).

Примерами подобных месторождений являются бокситовые месторождения Восточно-Европейской платформы: Тихвинский (рис. 2.13.) , Северо-Онежский, Средне-Тиманский и Южно-Тиманский районы. За рубежом такие месторождения встречены также на Китайской и Северо-Американской платформах.

Тихвинская группа месторождений расположена на территории Ленинградской области, в пределах северо-западного крыла Московской синеклизы. Бокситоносная зона вытянута в субмеридиональном направлении на 260 км. В пределах зоны расположено более 30 месторождений. Дорудный фундамент месторождений сложен песчаниками, слюдистыми сланцами с линзами песков и пестроцветных песчаников среднего девона. Бокситоносные осадки несогласно залегают на пестроцветных глинах девона и приурочены к средней части тульского горизонта нижнего карбона.

Перекрывается бокситоносная толща пестроцветными глинами с линзами песков и другими ледниковыми отложениями или песчано-растительным слоем. Промышленные залежи бокситов приурочены к овражно-балочным долинам и депрессиям в дорудном рельефе. Они имеют узкую вытянутую форму с плоской слабо-вогнутой или неровной поверхно-

стью кровли и выпуклой вниз подошвой (рис. 5.26). Глубина залегания бокситов обычно не более 40 м (до 100 – 150 м).

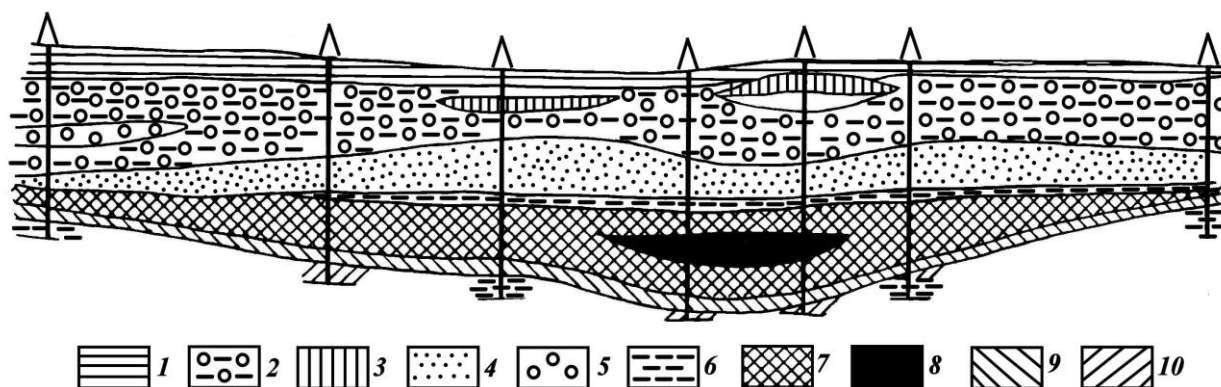
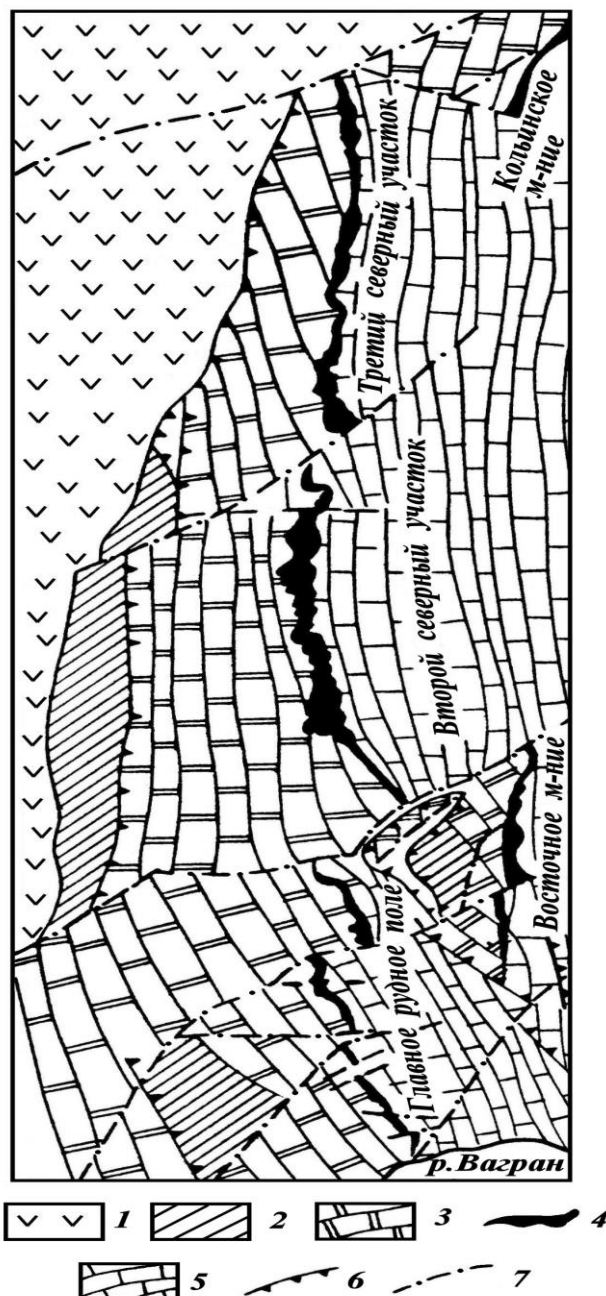


Рис. 2.13. Геологический поперечный разрез Старинского месторождения Тихвинского бокситорудного района.

1 – суглинки; 2 – глина валунная; 3 – глина ленточная; 4 – пески мелкозернистые; 5 – галечники; 6 – глина пластичная; 7 – бокситовые породы – аллиты; 8 – бокситы; 9 – глина пестроцветная подбокситовая; 10 – глина сухаристая.

Бокситы характеризуются красновато-коричневой окраской, слабой сортировкой обломочного материала, большим количеством растительных остатков и вторичного кальцита. По текстурным признакам среди них различают: обломочные, оолито-бобовые и тонко-дисперсные (пелитовые). По минеральному составу бокситы относятся к гиббсит-бемит-каолининовому типу. Они содержат 36 – 39 % оксида глинозема. Запасы бокситов Тихвинской группы месторождений оценены в 148 млн.т.

Осадочные геосинклинальные месторождения образовались в мелководных условиях во время перерывов в накоплении морских осадков. Они встречаются главным образом в перегибах, тяготеющих к краевым частям крупных антиклинорий и срединных массивов. Часто бокситы залегают на закарстованной поверхности рифогенных известняков (рис. 2.14.). Бокситовые пласты и вмещающие породы обычно смяты в складки и метаморфизованы.



павловской свиты; 4 – бокситы; 5 – известняки вагранской свиты; 6 – надвиги; 7 – сбросы.

Рис. 2.14. Схема геологического строения месторождения бокситов Красная Шапочка. По А.В. Пейве.

1 – вулканические породы сосьвинской свиты; 2 – слоистые известняки сарайной свиты; 3 – массивные известняки Петропавловской свиты; 4 – бокситы; 5 – известняки вагранской свиты; 6 – надвиги; 7 – сбросы.

Бокситы геосинклинальных областей характеризуются высоким и выдержанным качеством. Среди них преобладают диаспор-бемитовые, диаспоровые и бемитовые разности. Текстура слоистая и бобовая. Месторождения этого типа развиты в Северо-Уральском ("Красная Шапочка", Южно-Уральском, Салаирском и Боксонском бокситоносных районах России. Они

известны также в Венгрии, Греции, Франции, Югославии, Гаити, Доминиканской республике, Ямайке.

Месторождение «Красная Шапочка» расположено в пределах Северо-Уральского бокситоносного района. Бокситы Северо-Уральского района приурочены к плоской меридионально вытянутой депрессии, сложены известняками и сланцами среднего силура – девона. Бокситы залегают на размытой, закарстованной поверхности известняков нижнего девона. Кровля бокситов ровная, представлена битуминозными известняками и мергелями. Залежи бокситов пластообразной формы (рис. 2.14) с падением на восток под углами 25 – 45°. Рудный горизонт подразделяется на два подгоризонта: нижний – красные, маркие, немаркие и яшмовидные бокситы, верхний – пестроцветные пиритизированные бокситы.

Красные бокситы характеризуются высоким качеством, содержат 53 – 55% оксида алюминия. Разведанные запасы составляют 185 млн.т.

Красные маркие бокситы заполняют карстовые полости в известняках, а немаркие и яшмовидные тяготеют к склонам депрессий. Пестроцветные встречаются повсеместно. Мощность красных бокситов от нескольких см. до 20 м, редко более. Мощность пестроцветных бокситов в среднем 0,5 – 0,7 м (достигает 3 м). Красные бокситы относятся к диаспоровым, яшмовидные и пестроцветные – к диаспор-бемитовым. Текстура бокситов слоистая и бобовая.

Небокситовое алюминиевое сырье

Использование этого вида сырья для получения алюминия резко ограничено из-за очень высоких энергетических затрат, однако огромные запасы и ресурсы его могут иметь в будущем важнейшее значение.

Магматические породы: нефелиновые (в нефелиновых сиенитах Кия-Шалтырского месторождения установлено 0,825 г/т Pd и 0,04 г/т Au), уртитовые (содержат примеси платиноидов - в урритах Кия-Шалтырского

месторождения содержится 0,049 г/т Rh, в уртитах Горячегогорского месторождения выявлено 2,9 г/т металлов платиновой группы), апатит-нефелиновые Кольского полуострова, Прибайкалья, Забайкалья и др. $\text{Al}_2\text{O}_3 > 22,5\%$, $\text{SiO}_2 < 45\%$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} > 9,5$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 7\%$. Среди магматических пород перспективны анортозитовые, лейцитовые и другие высокоглиноземистые изверженные породы.

Гидротермальные алунитовые руды формируются в областях молодого вулканизма в результате воздействия вулканических сернистых газов и растворов, обогащенных серной кислотой, на вмещающие вулканические алюмосиликатные породы. Месторождения известны на Кавказе, Закарпатье, Казахстане, Средней Азии, Приморье. Руды, которые не требуется обогащать, должны содержать $> 50\%$ алунита и $< 10\%$ глинистых минералов.

Каолиновые глины, высокоглиноземистые аргиллиты (содержание $\text{Al}_2\text{O}_3 > 30-35\%$).

Метаморфические руды: высокоглиноземистые сланцы кианитовые, андалузитовые, силлиманитовые.

Крупнейшие месторождения кианитовых сланцев разведаны на Кольском полуострове, где могут разрабатываться открытым способом. Месторождения силлиманитовых сланцев имеются в Карелии, на Урале, в Иркутской области, Бурятии, Красноярском крае и в Казахстане. Используемые концентраты должны содержать (в %): $\text{Al}_2\text{O}_3 > 54$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 < 1,2$, $\text{CaO} < 0,8$; $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} < 1,6$.

Геотехногенные отходы металлургических и горнодобывающих предприятий (хвосты обогащения углей, золы углей, отходы при переработке руд черных, цветных металлов и химической промышленности).

Свинец и цинк.

Свинец известен с древнейших времен. В Месопотамии и Египте он использовался за 6-7 тысяч лет до н. э. В Китае за 2000 лет до н.э. свинец использовался для чеканки монет.

Металлический цинк был открыт в 1520 г, однако более ранние изделия из него относятся к VI-V в. до н. э.

В настоящее время большая часть свинца используется для изготовления аккумуляторных батарей (63%), остальное применяется в производстве красителей и химикатов, оболочек кабеля, сплавов, боеприпасов и прочих изделий. Цинк применяется в производстве оцинкованной стали (47%), латуни, бронзы и других сплавов (19%), литья под давлением (14%) и прочей продукции.

Общие запасы Pb в 70 зарубежных странах оцениваются в 212 млн. т, разведанные составляют 129 млн. т. Общие запасы Zn превышают 491 млн. т, а разведанные 294 млн. т.

Россия занимает 2-е место в мире по запасам Pb и 1-е по запасам Zn.

Наиболее крупными запасами Pb и Zn обладают также США, Австралия, Казахстан, Канада, Китай. К месторождениям мирового масштаба относятся Мак-Артур (Австралия), Салливан (Канада), месторождения бассейна Миссури (США).

В России разведанные запасы Pb оцениваются в 13,9 млн. т, Zn – 46,5 млн. т. 82% запасов находятся в месторождениях Восточно-Сибирского и Уральского районов, остальные 18% в пределах Западно-Сибирского, Дальневосточного и Северо-Кавказского регионов. Наиболее крупные месторождения – Холоднинское, Озерное, Карбалихинское, Гайское, Учалинское, Николаевское, Сардана.

Кларк Pb 0,0016%, содержания его увеличиваются от ультраосновных и основных к кислым магматическим породам.

Кларк Zn 0,08%, наиболее высокие содержания его наблюдаются в основных породах.

Оба элемента характеризуются отчетливо выраженными халькофильными свойствами. Они выносятся гидротермальными растворами в виде комплексных соединений и осаждаются в форме сульфидов при температуре ниже 300⁰С.

Главные минералы свинца – галенит PbS, обычно содержит примеси Ag, Bi, Sb, джемсонит Pb₄FeSb₆S₁₄, буланжерит Pb₅Sb₄S₁₁; в зоне окисления церуссит PbCO₃ и англезит PbSO₄. Основные минералы цинка – сфалерит ZnS, содержащий примеси Cd, In, Ga, Ge; в зоне окисления смитсонит ZnCO₃ и каламин Zn₄ (OH)₂ [Si₂O₇] H₂O.

Главные промышленные минералы свинцово-цинковых руд – галенит и сфалерит.

Генетические типы промышленных месторождений

Среди промышленных месторождений свинца и цинка выделяются: скарновые, плутоногенно-гидротермальные, колчеданные полиметаллические, стратифомные, метаморфогенные.

Скарновые свинцово-цинковые месторождения связаны с вулканоплутоническими ассоциациями. Рудные тела ассоциируют с известковыми скарнами, они располагаются на удалении от контактов с интрузиями, характеризуются сложной морфологией. Состав скарнов определяется преобладанием геденбергита, в меньших количествах присутствуют гранат, волластонит. Руды обычно богатые сплошные и вкрапленные. Содержание Pb 6-12%, Zn 6-14%, Ag 30-300 г/т. Соотношения Pb и Zn близко 1:1. Типичные элементы-примеси Cd, Sn, Cu, In, Bi, Ag, Sb.

Свинцово-цинковые скарновые месторождения в мировом балансе запасов имеют подчиненное значение. Для России роль этих месторождений более существенна. Месторождения известны в Приморье (Николаев-

ское, Верхнее и др.), Забайкалье (Смирновское и др.), Средней Азии (Алтын-Топкан), Швеции, Югославии, США и др.

Гидротермальные плутогенные месторождения представлены жильными рудными телами. Вмещающие породы весьма разнообразны – гранитоиды, известняки, песчано-сланцевые отложения и др. В составе руд преобладают галенит и сфалерит, в меньших количествах содержатся халькопирит, пирит, пирротин, иногда блеклые руды, минералы серебра, нерудные – кварц, карбонаты, барит.

Месторождения известны на Северном Кавказе (Садонское, Згидское), в Средней Азии, Чехии, США, Канаде и других странах. Месторождения чаще мелкие и средние по запасам. Промышленное значение этой группы скромное.

Колчеданные месторождения. Промышленное значение их весьма существенное, в них сосредоточено более 60% подтвержденных запасов.

Месторождения представлены широко известным алтайским типом полиметаллических руд, близким к нему типу куроко. Они связаны с дифференцированными базальтоидными формациями. Среди пород, слагающих рудоносные формации, преобладают кислые вулканы (лавы, лавобрекчии, туфы, игнимбриты), составляющие 45-50% от общего объема. Базальты, их туфы значительно уступают кислым разностям, составляя 10-15%. На долю осадочных пород – песчаников, алевролитов, известняков приходится до 35-40%.

Месторождениям свойственна линзовидная форма согласных рудных тел; хорошее развитие подрудных штокверковых зон, где часто сосредоточены значительные запасы руд.

Вулканогенные колчеданные месторождения часто представлены крупными объектами. Это месторождения Рудного Алтая: Риддер-Сокольное (рис. 2.15.), Карбалихинское, Тишинское и др.; Салаирского

кряжа: Салаирское; Западного Забайкалья -Озерное. Представителями этого типа являются месторождение Кууроко в Японии, месторождения Канады, Испании, США и многие другие.

Риддер-Сокольное месторождение (рудная формация полиметаллическая колчеданная), расположенное в Рудном Алтае, может служить примером полиметаллических колчеданных месторождений .

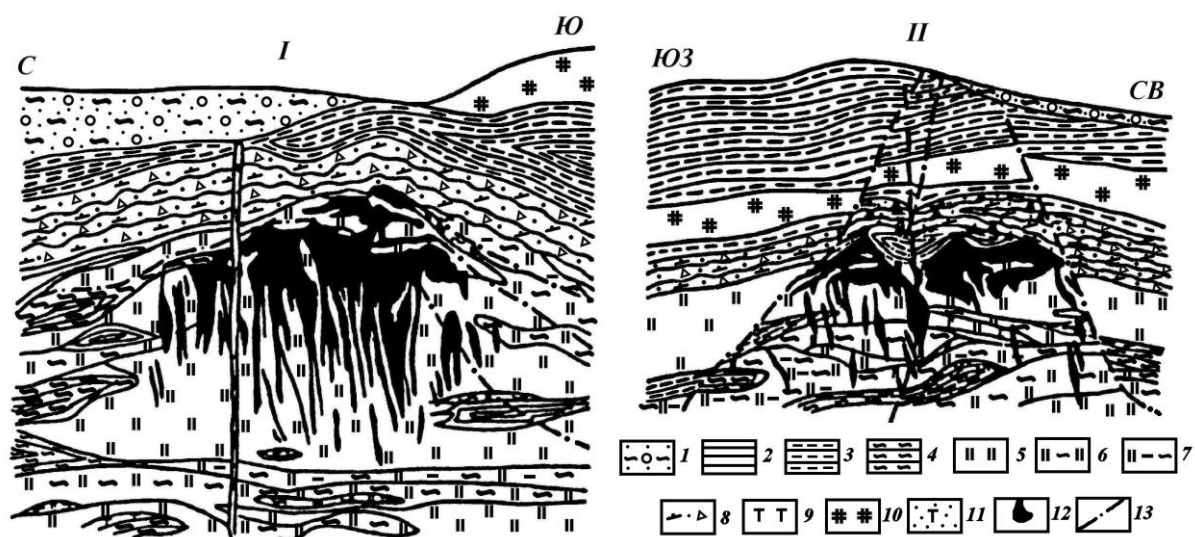


Рис. 2.15. Разрезы рудных залежей Риддер-Сокольного месторождения: I – Юго-Западная, II – Победа (по данным Лениногорского рудника).

1 – рыхлые отложения; 2 – алевропелиты; 3 – известковистые алевропелиты; 4 – серицитизированные алевропелиты; 5 – микрокварциты; 6 – серицит-хлорит-кварцевые породы; 7 – серицитизированные микрокварциты; 8 – агломератовые туфы смешанного состава; 9 – миндалекаменные плагиоклазовые порфиры; 10 – кварцевые альбит-порфиры; 11 – диабазы и диабазовые порфиры; 12 – полиметаллическая руда; 13 – разломы.

Пологоскладчатые девонские вулканогенно-осадочные породы слагают межвулканическую депрессию. В северной части депрессии расположен Риддер-Сокольный палеовулкан, на южном склоне которого расположено колчеданное оруденение, локализованное в туфах кислого состава. Рудные тела имеют сложную медузообразную форму – сочетание пластообразных залежей с отходящими вниз апофизами жильных тел и штокверков.

Главные рудные минералы - галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, второстепенные – арсенопирит, блеклые руды, золото, серебро.

Стратиформные месторождения зачастую связаны с карбонатными формациями. Эти формации сложены известняками и доломитами, часто битуминозными, с прослоями черных сланцев, кремнистых пород. Фациальные особенности пород свидетельствуют о формировании их в мелководных прибрежно-морских, лагунных условиях.

Рудные тела стратиформных месторождений представлены согласными пластовыми и лентовидными залежами и размещаются в одном или нескольких стратиграфических горизонтах. Залежи отличаются большой протяженностью (от сотен метров до первых километров), шириной (800-1000 м) при мощности от 0,5 до 200 м. Руды сложены сфалеритом, галенитом с незначительным количеством пирита, марказита, халькопирита, барита.

Дискуссионным является вопрос о генезисе стратиформных месторождений. Наиболее вероятным представляется двухэтапный процесс формирования. В ранний гидротермально-осадочный этап из гидротермальных растворов эндогенного происхождения, достигавших морского дна, в застойной обстановке локальных палеодепрессий осаждались сульфиды в виде рудных илов. Преобразование сульфидов происходило на стадии диагенеза при участии органического вещества. Второй этап (регенерации) связан с тектоническими и метаморфическими процессами перекристаллизации и перераспределения рудного вещества.

Типичными представителями данной группы могут быть названы месторождения России (Сардана), Казахстана (Миргалимсай, Ачисай), Узбекистана (Уч-Кулач), США (долина реки Миссури и др.), Канады (Паин-Поинт) и других стран.

Метаморфогенные (регионально метаморфизованного класса)

свинцово-цинковые месторождения сформированы в метаморфизованных терригенных отложениях, связаны с углеродистыми формациями, в состав которых могут входить вулканические комплексы базальтового или риолит-базальтового ряда. Рудные тела, как правило, локализованы среди углеродистых черносланцевых образований, приуроченных к средним частям формаций. При этом отмечается, что рудовмещающие углеродистые толщи пространственно связаны с карбонатными и вулканогенными толщами. Предполагается, что именно вулканические комплексы служат основным источником рудообразующих растворов.

В связи с этим такие месторождения относят к колчеданно-полиметаллическим месторождениям второго типа, локализованным в терригенных формациях (Авдонин и др., 2005).

Примерами являются месторождения Северного Прибайкалья (Холоднинское), Енисейского кряжа (Горевское и др.), Большого Кавказа (Филизчайское, Катехское), Австралии (месторождения Брокен-Хилл, Маунт-Айза и др.).

Месторождения локализованы в древних протерозойских и нижнепалеозойских комплексах и вместе с ними подверглись метаморфизму (Брокен-Хилл в Австралии, Салливан в Канаде). Вмещающие породы этих месторождений испытали складчатые деформации и метаморфизм, а руды перекристаллизованы. При этом, наряду с первичными стратиформными рудами, возникает новый текстурно-генетический тип жильных полиметаллических руд – метаморфогенно-гидротермальный (Синюков, 1983).

Холодненское месторождение уникальное по запасам свинцово-цинковых руд расположено в Северном Прибайкалье в структурах докембрийского складчатого обрамления Сибирской платформы к северу от оз. Байкал. Рудовмещающими породами служат графит-слюдистые сланцы,

графитистые кристаллические известняки и доломиты, кварциты, переслаивающиеся с порфитобластическими породами и ортоамфиболитами. Породы собраны в крутые сжатые изоклинальные складки. Рудные тела четко стратифицированы, залегают в виде серии согласных сближенных пластовых тел. Отмечается увеличение мощностей рудных залежей в шарнирах антиклинальных складок.

Месторождение сформировалось в два этапа – гидротермально-осадочный и метаморфический (Синюков, 1983). На раннем этапе формировались протяженные пластовые тела массивных и слоистых галенит-сфалерит-пиритовых руд в алевролитах. Рудоотложение происходило в локальных депрессиях морского дна на фоне формирования флишеидных терригенно-кремнисто-карбонатных пород с примесью углеродистого вещества при весьма ограниченном развитии процессов вулканизма.

В метаморфический этап руды и вмещающие породы были смяты в сложные изоклинальные складки, метаморфизованы в условиях эпидот-амфиболитовой фации ($T=500-600^{\circ}\text{C}$, $P=5-6$ кбар). Слоистые сульфидные руды претерпели общую перекристаллизацию в основном в пределах контуров пластовых залежей с незначительным изменением текстурно-структурного рисунка, образовались кристаллически-зернистые агрегаты пирита, сфалерита, галенита и халькопирита. С процессом общей перекристаллизации связано небольшое перераспределение таких элементов как мышьяк и сурьма и появление арсенопирита в ассоциации с пиритом, асульфоселей в ассоциации с галенитом и сфалеритом.

На регрессивном этапе метаморфизма вдоль локальных тектонических зон формировались кварц-мусковитовые, плагиоклаз-цоизит-мусковитовые метасоматиты и формирование прожилковво-вкрапленной сульфидной минерализации.

2.4. Месторождения сурьмы и ртути

Сурьму и ртуть, наряду с золотом и медью считают доисторическими элементами. В древности сурьма использовалась для изготовления красок. Освоение в промышленных масштабах началось в XX в.

Сурьма придает прочность, твердость и коррозионную устойчивость сплавам со свинцом, медью и цинком, ее соединения характеризуются огнестойкостью. Главными потребителями сурьмы являются автомобильная, полиграфическая, химическая и стекольно-керамическая промышленность; кроме того, она применяется в электротехнической и электронной промышленности, при производстве красок и пропиток.

Разведанные запасы сурьмы составляют 7,6 млн. т, из которых более 82% приходится на Китай, Таджикистан, Россию, Боливию, ЮАР, Таиланд, Киргизию и Мексику. Производство сурьмы составляет 143 тыс. т, основная часть приходится на Китай (84,2%), значительно уступают Боливия (4,2%), ЮАР (2,9%) и Россия (1,5%).

В России добыча руд и производство концентратов сурьмы осуществляются только на месторождениях Якутии, крупномасштабная добыча сохранилась лишь на Сарылахском месторождении. На Олимпиаденском месторождении в Красноярском крае пока ограничиваются лишь добычей сурьмусодержащих руд. Из других стран СНГ добычу сурьмы осуществляют Таджикистан и Киргизия.

Кларк Sb 0,5 г/т (0,00005%). В различных типах изверженных пород содержания Sb мало изменяются. Сурьма выносится из магматического очага в виде комплексных ионов, обладающих высокой летучестью. В зоне окисления сурьма рассеивается, не образуя значимых концентраций. Антимонит (Sb_2S_3) - главный промышленный минерал сурьмы. Меньшее значе-

ние имеют ливингстонит HgSb_4S_7 , тетраэдрит $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$, джемсонит $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$, буланжерит $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$, в зоне окисления образуются вторичные минералы – валентинит Sb_2O_3 и сервантит Sb_2O_4 .

Генетические типы промышленных месторождений

Среди промышленных месторождений сурьмы и ртути наиболее значимы вулканогенно-гидротермальные и стратиформные. Плутоногенно-гидротермальная группа немногочисленна.

Генетическая принадлежность некоторых месторождений неопределенна и является предметом дискуссий. Россыпные месторождения промышленного значения не имеют.

Плутоногенные гидротермальные месторождения, (формация кварц-золото-антимонитовая). Рудовмещающие породы – черносланцевые и сероцветные глинисто-песчаниковые. Месторождения связаны с формацией диорит-гранодиоритовой. Рудные тела жильной формы локализуются в зонах сбросо-сдвигов. Наряду с простыми жилами встречаются согласные четковидные и седловидные тела, зоны прожилково-вкрапленной минерализации.

В составе руд главная роль принадлежит антимониту, бертьериту, высокопробному золоту. Жилы часто сопровождаются ореолами прожилково-вкрапленной сульфидизации (пирит, арсенопирит) с повышенной золотосодержимостью.

Руды отличаются высоким качеством: среднее содержание сурьмы в рудах составляет от первых единиц до первых десятков процентов, золота – до десятков граммов на тонну породы.

Наиболее значительные месторождения этого типа находятся в Боливии, ЮАР, Франции. В России они известны в Якутии (Сарылах, Сентачан) на Енисейском кряже (Удереysкое).

Вулканогенные гидротермальные месторождения (формация кварц-антимонитовая). Месторождения располагаются в перивулканических и субвулканических зонах областей орогенеза и тектономагматической активизации. Преобладают жилы, наблюдаются минерализованные зоны дробления и брекчирования. Содержание Sb 1-10%, сопутствующие компоненты – Ag, W, Au. Экономическое значение месторождений этого типа в России малозначительно. Примером их может служить месторождение Салокочи на Дальнем Востоке.

Стратиформные (телетермальные) месторождения (кварц-флюорит-антимонитовой формации). Для них характерны пластообразные рудные залежи, располагающиеся в терригенно-карбонатных комплексах на определенных стратиграфических уровнях.

Месторождения наиболее широко распространены в Среднеазиатской провинции (Кадамджай, Хайдаркан, Джиджикрут и др.). В Южном Китае находится уникальное сурьмяное месторождение Сигуаньшань.

Прожилково-вкрапленное, иногда гнездовое оруденение локализовано в пластообразных залежах джаспероидов (кварц-карбонатного состава) под сланцевыми экранами. Рудные залежи прослеживаются по простиранию на многие сотни метров, иногда первые километры при мощности от нескольких до 40-50 метров.

Главные промышленные минералы руд – антимонит и кварц, второстепенные – киноварь, марказит, пирит, арсенопирит, сфалерит, халькопирит, аурипигмент и реальгар. Гидротермальное изменение вмещающих пород выражается в окварцевании, карбонатизации и пиритизации. Руды сурьмяные и сурьмяно-ртутные. Содержание Sb 1-12%, в среднем – 1,5-3%.

Месторождение Хайдаракан стратиформное (рудная формация сурьмяно-ртутная) находится в восточной части Южно-Ферганского сурьмяно-ртутного пояса Средней Азии, является типичным представите-

лем комплексного ртутно-флюорит-сурьмяного оруденения. Структура рудного поля сложная (рис. 2.16.).

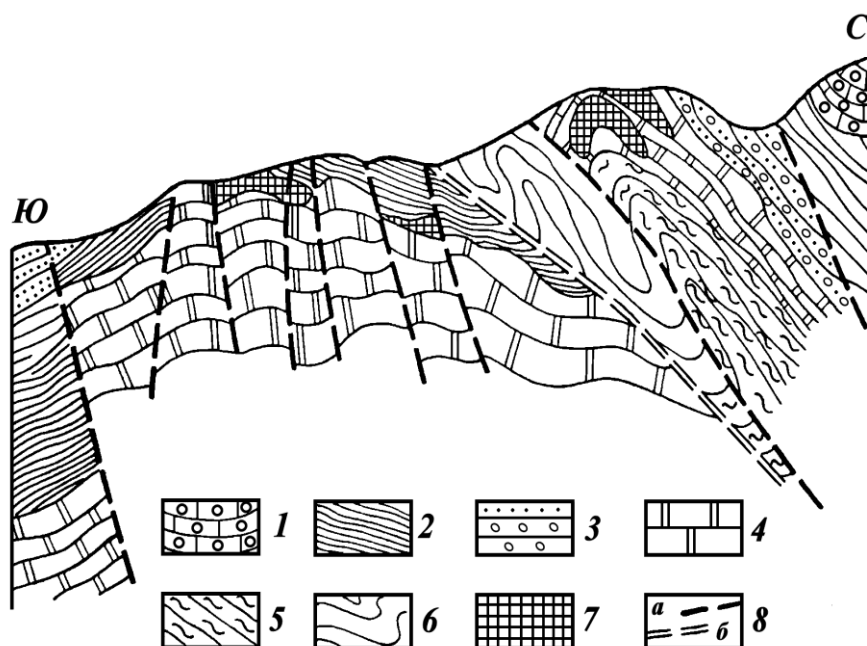


Рис. 2.16. Схематический разрез через Хайдарканское рудное поле. По Н.А. Никифорофу.

1 – конгломераты известняковые мелкогалечные, 2 – песчаники и сланцы; глинисто-песчанистые сланцы; 3 – сланцевато-конгломератовая Карарчинская толща; 4 – массивные, слоистые известняки; 5 – глинисто-серицитовые сланцы, часто переходящие в углисто-кремнистые; 6 – верхнесилурийские сланцы; 7 – джеспероиды; 8 – сброс и взбросы (а) и надвиги (б).

Толща силурийских сланцев надвинута на известняки и сланцы карбона, обе толщи смяты в складки сундучного типа с пологими антиклинальными сводами и крутыми крыльями и разбиты поперечными и диагональными разломами на серию блоков. Оруденение приурочено к крупным пластообразным и линзовидным залежам джеспероидов – продуктов окварцевания тонкослоистых известняков. Главные рудные минералы – антимонит и киноварь, второстепенные реальгар, аурипигмент, пирит и др. Главные жильные – кварц, флюорит, кальцит; встречается барит. Текстуры руд

вкрапленные, прожилково-вкрапленные, гнездовые, брекчиевые и др. Рудотложение происходило в температурном интервале 250-50° С.

Возраст оруденения по радиохронологическим данным (от 268 до 236 млн. лет) соответствует перми и триасу.

Ртуть. В глубокой древности китайцы использовали ее в лечебных целях и знали о способности ртути растворять золото и серебро. За 300 лет до н.э. греки разрабатывали испанское месторождение Альмаден.

Ртуть обладает рядом необычных свойств: это единственный металл жидкий при нормальной температуре, способный растворять золото, серебро и другие металлы.

Ртуть используется в химической промышленности (45%) для получения хлора и каустической соды, красок, сулемы, каломели, различных катализаторов. Около трети ртути используется в электронной и электротехнической отраслях промышленности для осветительной аппаратуры, приборов. Для измерительных приборов, стоматологического оборудования и других целей используется около 45% ртути.

Мировые запасы ртути составляют 900 тыс. т, а мировая добыча не превышает 3 тыс. т. Ведущая роль в минерально-сырьевой базе ртути принадлежит Испании, Алжиру, Китаю, Киргизии, Югославии. Основные производители Hg – Испания, Киргизия, Китай, Алжир.

В России ведется небольшая добыча Hg на Сахалинском месторождении, в Краснодарском крае и на Алтае – Акташском месторождении.

Кларк Hg 80 мг/т (000008%). В различных типах изверженных пород содержания ртути мало изменяются. В ходе эндогенного рудогенеза геохимические пути Hg и Sb нередко тесно сближаются, что выражается в образовании комплексных ртутно-сурьмяных месторождений. Перенос ртути из магматических источников осуществляется, вероятно, в форме комплексных ионов в щелочных растворах.

Главное промышленное значение имеет киноварь HgS , реже предметом добычи служит самородная ртуть, метациннабарит HgS (куб. синг.), блеклая руда – шварцит $(\text{Hg,Cu})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$.

Ртуть извлекают из монометальных ртутных, комплексных сурьмяно-ртутных, полиметальных и ртутьсодержащих руд. Допустимое для разработки минимальное содержание в ртутных рудах составляет 0,1%.

Вулканогенные гидротермальные месторождения включают в себя карбонатно-полиаргиллитовый, лиственитовый и опалито-алунитовый промышленные типы.

Месторождения карбонатно-полиаргиллитового типа связаны с зонами наземного вулканизма преимущественно андезит-дацитового состава, обнаруживают связь с вулкано-тектоническими структурами. Месторождения размещаются в карбонатных и алюмосиликатных породах, часто в алунитизированных кислых эффузивах и их туфах, зонах аргиллитизации.

Содержание Hg в рудах – десятые доли процента, редко – первые проценты. В рудах этого типа сосредоточено 14-15% запасов Hg.

Наиболее известные месторождения: Монте-Амиата в Италии, месторождения Алжира, Западно-Полянское на Чукотке, Акташ на Горном Алтае и другие.

Месторождения лиственитового типа. Рудные тела линзовидной или столбообразной формы локализуются вдоль контактов серпентинитов, основных вулканогенных пород с вмещающими терригенными породами. Листвениты помимо основной массы кварца и карбонатов содержат тальк, серпентин, хлорит, каолинит. В прилегающих терригенных породах лиственитизации сопутствует аргиллизация.

Киноварь в большинстве случаев единственный рудный минерал. Значительно реже в некоторых месторождениях (Тамватнейское) в заметных количествах присутствуют минералы As и W, для некоторых зон ха-

рактарно такжe Au. Доля месторождений лиственитового типа в суммарных запасах составляет 13-14%. Наиболее крупные месторождения находятся в США – Нью-Альмаден, Нью-Идрия. В России крупнейшими являются Тамватней (Чукотка), Чаган-Узун (Горный Алтай).

Стратиформные месторождения представлены кварц-диккитовым и карбонатным промышленными типами.

Месторождения кварц-диккитового типа представлены в основном монометальными киноварными рудами. Рудовмещающими являются мощные терригенные комплексы – песчаники с повышенной угленосностью. Рудные тела образуют согласные или пластообразные залежи прожилково-вкрапленных руд в пластах песчаников, претерпевших окварцевание и аргиллизацию. Характерно многоярусное оруденение. Иногда наблюдаются жилообразные, штокверкообразные тела, приуроченные к зонам разломов. Содержание ртути от сотых долей до 30% и более. Это наиболее важный тип месторождений Hg, на его долю приходится 42-44% мировых запасов. К этому типу относятся месторождения Альмаден в Испании, Никитовка (рис. 2.17.) на Украине, месторождения Китая. Проблема генезиса не имеет однозначного решения.

Месторождение Никитовка. Класс стратиформных (амагматогенных) месторождений, рудная формация ртутная. Месторождение находится в Донбассе, приурочено донецкой угленосной формации. Рудные тела локализованы в горизонтах кварцевых песчаников мощностью от 5 до 50 м, разделенных более мощными пачками (до 150м) безрудных сланцев. Рудные тела пластообразной и линзообразной формы размещаются в сводовых частях брахискладок. В перемятых и брекчированных породах вдоль разломов фиксируются зоны рассеянной минерализации. Вертикальный размах оруденения достигает 1.2 км.

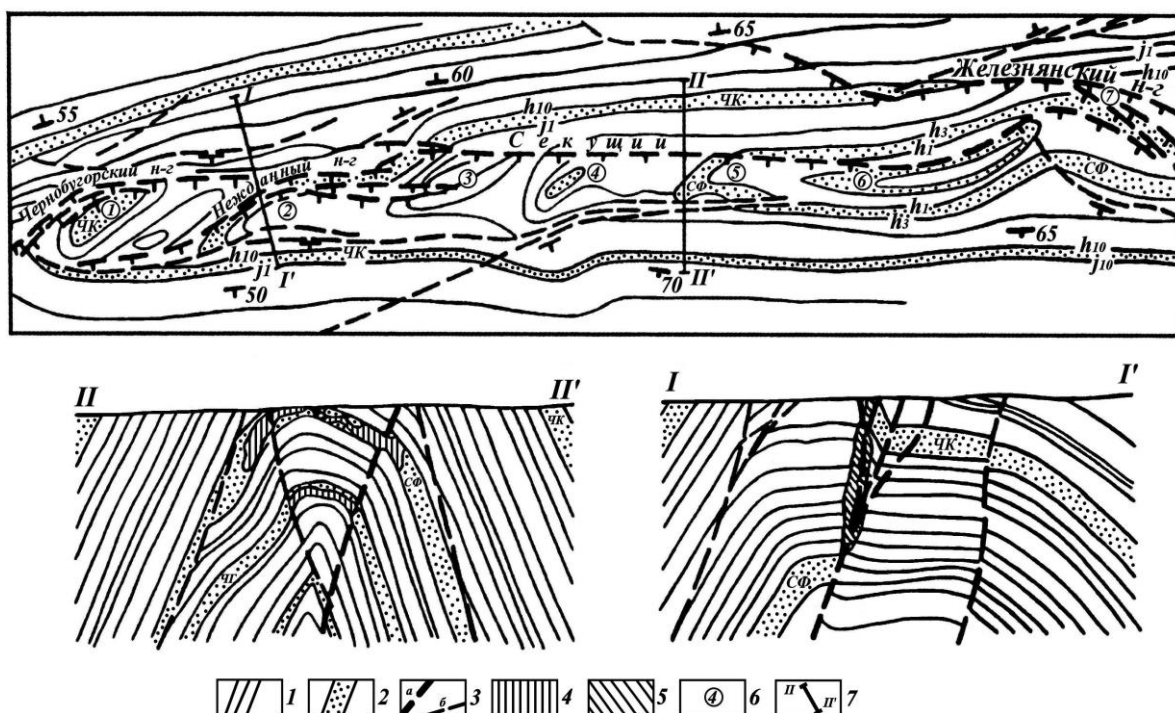


Рис. 2.17. Геологическая схема Никитовского рудного поля и схематические разрезы участков развития секущего (разрез I-I') и пластового (разрез П-П') типов оруденения. По Г.А. Соловьеву.

1 – терригенная толща с маломощными горизонтами углей; 2 – мощные пачки песчаников (чк – чернокурганских, сф – софиевских, чг – чегарникских); 3 – разрывные нарушения: основные рудоконтролирующие надвижки (а), прочие разрывные нарушения (б); 4, 5 – оруденение: 4 – внутрипластового типа, 5 – внутринадвигового типа; 6 – отдельные участки и месторождения Никитовского рудного поля; 7 – линии разрезов

Главный рудный минерал – киноварь. Содержание ртути в рудах – 0,4-1,3%. Текстуры руд вкрапленные, прожилковые, реже массивные. Температура образования киновари и антимонита 150-120⁰ С.

Изотопный состав серы сульфидов однороден и близок к метеоритному стандарту, что может свидетельствовать о глубинном источнике рудного вещества .

Месторождения карбонатного типа в России в настоящее время промышленного значения не имеют. Они широко развиты в Юго-Восточном Китае, известны в Югославии (Идрица). Месторождения монометалльные-

ные ртутные связаны с карбонатными и глинисто-карбонатными породами.

Глава 3. Генетические типы месторождений редких и рассеянных элементов

3.1. Месторождения лития, рубидия, цезия.

Щелочные металлы главной подгруппы первой группы Периодической системы Д.Менделеева. Литий и цезий являются редкими элементами, рубидий - рассеянный. Это типичные литофильные элементы, которые находят все более широкое применение в современной промышленности.

Литий (Li)– элемент открыт в 1817 году шведским химиком А.Арфедсоном в петалите. Природный литий – смесь двух изотопов Li^6 и Li^7 . Плотность лития – $0,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления 180°C , кипения – 1317°C .

Литий обладает пластичностью и вязкостью, твердость 0,6. Он легко сплавляется почти со всеми металлами, образуя твердые растворы или интерметаллические соединения.

Традиционными областями использования лития являются военная техника, стекольная и керамическая отрасли промышленности, производство флюсов, припоев, смазок, щелочных аккумуляторов, приборов для кондиционирования воздуха. В последние годы литий нашел применение при получении алюминия, наметились большие перспективы его использования в легких конструкционных материалах. Li^6 – единственный источник получения радиоактивного изотопа водорода-третия – основного «горючего» компонента водородных бомб. Литий – теплоноситель ядерных реакторов благодаря большой разнице между температурой плавления и кипения.

Кларк лития 27 г/т. Содержание его в магматических породах возрастает от ультраосновных к кислым породам. Всего установлено 54 минерала лития.

Главными промышленными минералами являются: сподумен $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ (5,8 - 7,6 % Li), лепидолит (3,2 – 4,4 % Li), петалит $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$ (3,4 – 4,1 % Li), амблигонит-монтебразит LiAlPO_4F (4,6 – 9,1% Li).

В богатых рудах содержание Li_2O 1,3-1,5%, редко достигает 2%, в бедных – 0,6-1%.

Общие запасы Li_2O в 20 странах мира составляют 29,5 млн. т, подтвержденные 8,5 млн.т., при этом 55% запасов лития зарубежных стран заключено в рапе соляных озер.

Наиболее крупными запасами обладают Боливия (более 40% общих запасов), Чили, Австралия.

За 2005 год мировое производство лития составило 18 тыс. тонн в год. Главные производители: Чили – 45%, Австралия – 23,9%, Аргентина – 10%, Китай 9,4%, США – 6,1%. Пять стран производят 94,4 % лития в год.

Генетические типы промышленных месторождений

Промышленные концентрации лития образуются как в эндогенных, так и экзогенных процессах рудообразования.

Ведущими промышленными типами месторождений являются гранитные пегматиты, а также природные высокоминерализованные воды (рапа соляных озер, рассолы, термальные воды). Меньшее значение имеют грейзеновые и гидротермальные месторождения.

Месторождения гранитных пегматитов (класс метасоматически замещенных пегматитов). Альбит-сподуменовые пегматиты с колумбитом и бериллом. Наиболее характерные месторождения этого типа находятся в России (Колмозерское, Полмостундровское, Тастыгское), известны в США (Кингз-Маунтин) и Афганистане (Дарае-Пич). Месторождения приурочены к метаморфическим, реже интрузивным породам разного возраста от протерозоя до мезозоя.

Альбит-сподуменовые пегматиты группируются в протяженные зоны. Форма рудных тел – плитообразные жилы с раздувами. Протяженность пегматитовых жил 500-3000 м, мощность 10-40 м. Залегание жил, как правило, согласное с региональным простираанием пегматитового поля.

Главные минералы – кварц, альбит и сподумен, количество микроклина не превышает 15%; из второстепенных минералов встречаются мусковит, турмалин, апатит, касситерит, гранат. Наряду со сподуменом нередко присутствуют берилл, колумбит и др.

Альбит-сподуменовые пегматиты (рис. 3.1.) представляют собой крупные месторождения лития (с попутным извлечением Та и Ве). Сподумен образует крупные кристаллы размером до 50 см, редко до 2 м. Среднее содержание Li_2O – 1-1,5%. Запасы Li_2O исчисляются сотнями тысяч тонн.

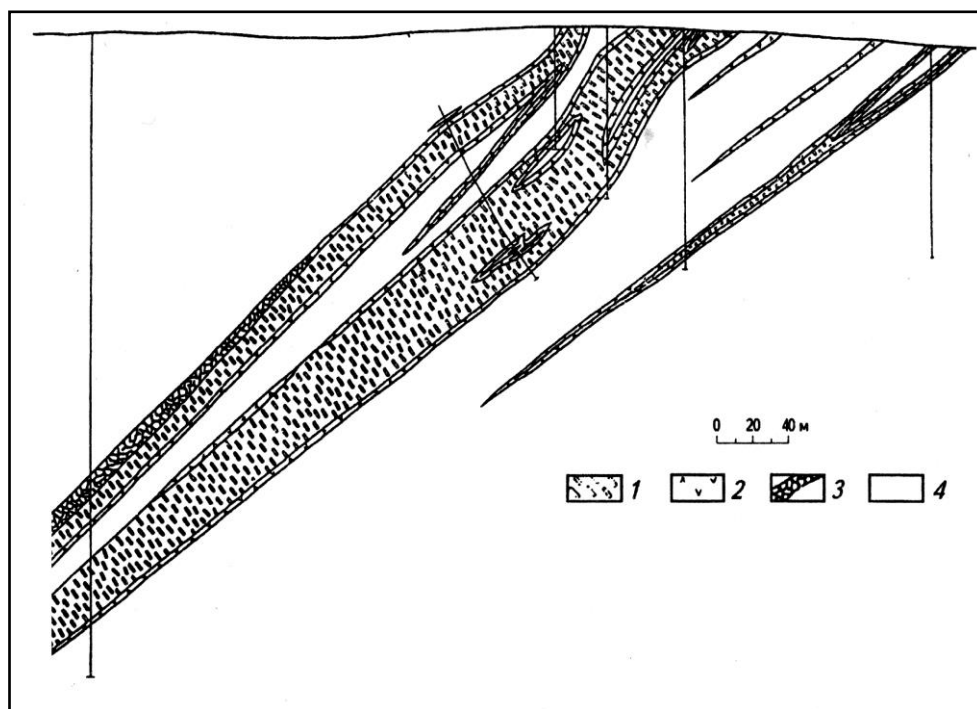


Рис. 3.1. Геологический разрез по жилам альбит-сподуменового пегматита (Солодов Н.А., 1957): 1 - кварц-альбит-сподуменовая зона; 2 – среднезернистая кварц-альбитовая зона; 3 - интенсивно выщелоченный кавернозный пегматит; 4 - габбро-анортозит.

Сподумен-микроклин-альбитовые пегматиты с лепидолитом, петалитом, поллуцитом, танталатами и бериллом представляют один из наиболее важных типов промышленных редкометальных месторождений. Они известны во многих пегматитовых полях мира от позднеархейской до герцинской эпох. К месторождениям этого типа относятся Бикита (Зимбабве), Карибиб (Намибия), Берник-Лейк (Канада), Васин-Мыльк (Россия) и др. Обычно сподумен-микроклин-альбитовые пегматиты залегают в метаморфических породах и ассоциируют с микроклиновыми, микроклин-альбитовыми и альбитовыми разностями. Месторождения представлены крупными линзо- и жилообразными телами. Длина их измеряется многими сотнями метров (в отдельных случаях превышает 1 км), мощность 5-50 м (иногда до 150 м).

Сподумен-микроклин-альбитовые пегматиты отличаются от всех типов пегматитов наибольшей сложностью минерального состава. Внутреннее строение рассматриваемых пегматитов характеризуется самой высокой степенью дифференциации (рис. 3.2.): в отдельных жилах выделяется 11 зон, в большинстве пегматитов 3-7 зон.

Запасы лепидолита некоторых месторождений Канады, Зимбабве и Намибии исчисляются сотнями тысяч и даже миллионами тонн. Из редких элементов данных пегматитов помимо лития практическое значение имеют Ta, Cs, Rb, Be, Nb, иногда Sn. Цезий имеет промышленное значение только в этом типе пегматитов (Гольцовое месторождение – Восточные Саяны). Его содержание нередко составляет 0,2-0,8%. Источником промышленного получения цезия служит не только его минерал – поллуцит, но также и лепидолит. Рубидий, подобно цезию, также в данных пегматитах обладает наибольшей концентрацией. Его среднее содержание в жилах достигает 0,5%. Обычно рубидий рассеивается в микроклине, слюдах, частично в поллуците, иногда образует рубидиевый мусковит, содержащий до 4%

Rb₂O. Содержание BeO обычно 0,04-0,05%, запасы исчисляются десятками и сотнями тонн.

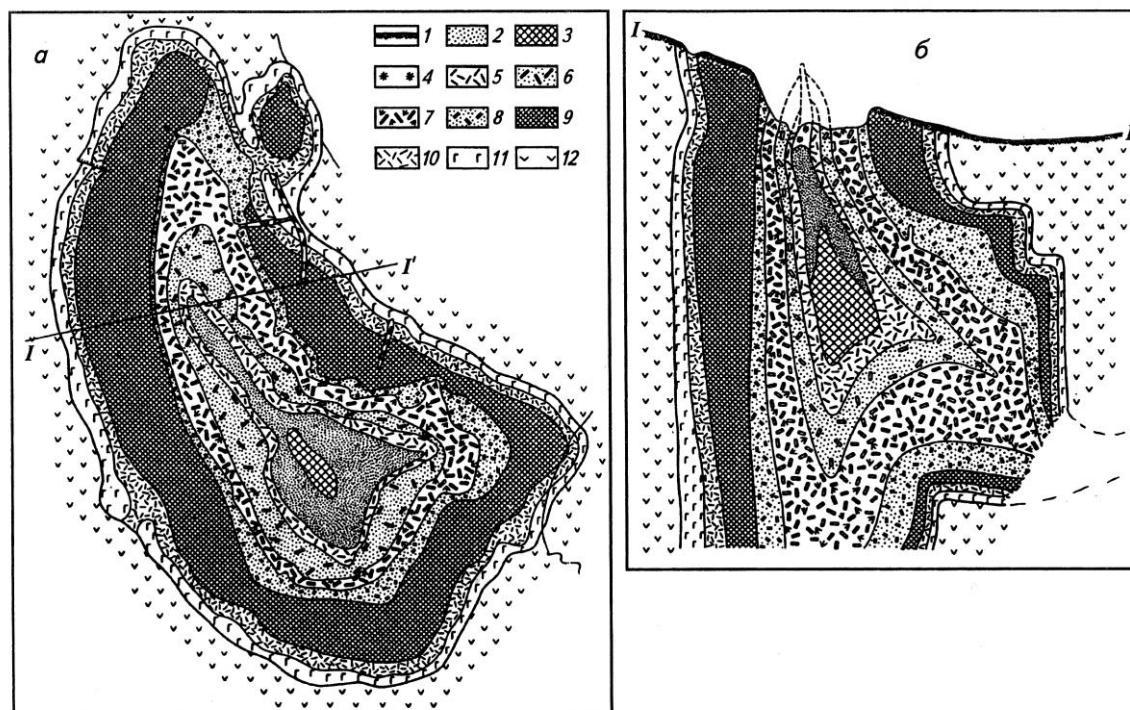


Рис. 3.2. Геологический план (а) и разрез (б) по жиле сподумен-микроклин-альбитового типа КНР, Коктогай (Солодов Н.А., 1952): 1 - почвенный слой и наносы; зоны (2 — 11): 2 - блокового кварца, 3 - блокового микроклина II; 4 - чешуйчатого лепидолита с танталатами; 5 — мелкопластинчатого альбита с танталатами; 6 - кварц-сподуменовая с танталитом; 7 - клевеландит-сподуменовая с танталитом и бериллом; 8 — кварц-мусковитовая с бериллом и танталит-колумбитом, 9 — блокового микроклина I; 10 - мелкозернистого альбита с бериллом, 11 - графическая кварц-микроклиновая; 12 — габбро.

Природные высокоминерализованные воды.

Различают следующие типы вод:

1) Термальные хлоридные калиево-натриевые воды распространены в районах современной вулканической активности: в Новой Зеландии, Японии, Эквадоре, США (штатах Вайоминг, Невада, Калифорния), Исландии, Италии, в России — на Камчатке и Курильских островах. В водах постоянно

присутствуют Li, Rb, Cs, B, иногда Sr и Re. Запасы геотермальных вод в некоторых месторождениях огромны. При разработке используются методы селективной экстракции из вод редких металлов.

2) Глубокозалегающие хлоридные, существенно натриевые, кальциевые или магниевые рассолы. В последние десятилетия они хорошо изучены в связи с буровыми работами на нефть и газ. Глубина залегания вод измеряется километрами. Минерализация вод обычно составляет 150-250 г/л. В водах присутствуют Li, Rb, Cs, Sr. Запасы лития в подземных водах нефтеносных районов, прилегающих к Мексиканскому заливу, оцениваются в 11 млн. т. при концентрации лития до 700 мг/л.

В настоящее время глубокозалегающие пластовые воды практически нигде в мире как сырье на редкие металлы не используются. А между тем, только в США вместе с нефтью и газом ежегодно добывается свыше 1,5 млрд. т подземных высокоминерализованных вод, в которых содержится 30 тыс. т лития, кроме того большие количества Sr, Rb, Cs, отмечается высокое содержание Br, B, солей K, Na, Ca, Mg и др.

3) Погребенная хлоридная натриевая рапа с литием – месторождение Силвер-Пик (шт. Невада, США). Месторождение расположено в долине, выполненной рыхлыми отложениями мощностью 100-200 м. Рыхлые отложения служат коллектором рапы, представляющей собой уникальное химическое сырье. Минерализация рапы свыше 200 г/л. Рапа содержит Na, K, Ca, Mg, Li, Cl, SO₄. Суммарные запасы солей составляют несколько миллиардов тонн. Запасы Li₂O оцениваются в 7,4 млн.т. при среднем его содержании более 0,08%.

4) Салары – представляют собой закрытые депрессионные структуры. Они встречаются в пустынях с аридным климатом. Салары состоят из отложений солей, которые переслаиваются с песками и глинами. Соляные слои пористые, поры заполнены рапой. Месторождения литиеносных сала-

ров известны на западном побережье Южной Америки, наиболее крупными являются Салар-де-Атакама (Чили), Салар-де-Уюни (Боливия). Общие запасы лития в месторождении Салар-де-Атакама оцениваются в 4,5 млн. т, подтвержденные – в 1,67 млн.т.

Сухое соленое озеро Серлз (шт. Калифорния, США), имеет площадь соляной толщи 80 км.², мощность - 30-40 м. Соли характеризуются высокой пористостью. В рапе содержится Br, J, NH₄, F, W, Mo, Ge, Sb, Li. Суммарные запасы оксида лития 400 тыс.т.

5) Поверхностная хлоридная натриево-магниевая рапа – Мертвое море (Израиль). Месторождение приурочено к современной рифтовой зоне. Содержание лития 180 мг/л.

6) Поверхностная сульфатно-хлоридная магниевая-натриевая рапа – Большое Соленое озеро (шт. Юта, США).. Запасы Li₂O в поверхностной рапе 1,3 млн.т. при содержании лития 42-66 мг/л.

Рубидий и цезий

Рубидий – серебристо-белый, очень мягкий и легкоплавкий металл, температура плавления 38,9⁰С. Характерные свойства – высокая химическая активность и низкая для металла электропроводность. Он более активный, чем натрий и калий, с водой реагирует со взрывом, бурно реагирует с кислородом и большинством кислот, непосредственно соединяется со многими металлами.

Цезий – первый элемент, открытый спектральным анализом в 1860 году при исследовании солей щелочных металлов, рубидий был открыт в 1861 году при анализе того же осадка солей из лепидолита.

Цезий - металл бледно-золотистого цвета, легкий, мягкий, температура плавления всего 28,5⁰С, бурно реагирует с галогенами, серой фосфо-

ром и водой, даже в виде льда, реагирует с углеродом не только в форме графита, но и алмаза.

Содержание рубидия в земной коре 150 г/т, он не имеет собственных минералов, входя в минералы калия, цезия и лития. Рубидий – один из немногих химических элементов, ресурсы и возможности добычи которого больше, чем современные потребности.

Цезий – редкий элемент в земной коре, его Кларк 3,7 г/т, промышленное значение имеет лишь один из минералов цезия – поллуцит ($\text{Cs, Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Промышленные минералы – лепидолит и поллуцит. Основной объем добычи лепидолита дают Зимбабве и Намибия. Поллуцит извлекается попутно при добыче литиевых, бериллиевых и танталовых минералов в Зимбабве, Намибии, Канаде и Мозамбике.

Рубидий в виде соединений, входит в состав некоторых болеутоляющих и успокаивающих лекарственных средств. В медицине используется рубидий -87: его атомы поглощаются клетками крови и по излучению ими быстрых электронов на специальном оборудовании можно увидеть узкие места в кровеносных сосудах. Рубидий используется в элементах солнечных батарей.

Соединения цезия используют широко в оптике, электротехнике, радиолокации, кинотехнике. Способность цезия отдавать электрон даже при незначительных воздействиях извне (например, при действии инфракрасного излучения) сделала цезий незаменимым для изготовления фотоэлементов. Цезий используется в исключительно точных "атомных часах". В мире создано более 70 таких точнейших часов - эталонов времени. Ошибка составляет менее секунды за 100 млн. лет.

Освоенные и возможные области применения рубидия и цезия: радиотехника и электроника, ракетно-космическая техника, электроэнергетика,

атомная и военная техника, стекло и керамика, химическая промышленность.

Мировое производство металлического рубидия в настоящее время около трех тонн в год.

Генетические типы промышленных месторождений

Наиболее важными месторождениями рубидия и цезия являются вышеописанные метасоматически замещенные пегматиты и природные высокоминерализованные зоны, а также холмквистит-цезий-биотитовые метасоматиты, карналлиты и нифелин-апатитовые руды.

Две трети эндогенных запасов рубидия связаны с грейзеновыми месторождениями. Наивысшее накопление в экзогенных месторождениях, в которых сосредоточено свыше половины всех его мировых запасов, наблюдается в хемогенно-осадочных образованиях (карналлиты) и поверхностной рапе.

На долю пегматитовых месторождений приходится 96% эндогенных запасов цезия. В экзогенном цикле запасы цезия приурочены к природным минерализованным водам, но в отличие от рубидия и лития они сосредоточены в термальных водах вулканических областей.

3.2. Месторождения бериллия, циркония, тантала и ниобия

Бериллий был открыт в 1798 году французским химиком А.Вокеленом. Известен один природный изотоп бериллия, а также четыре радиоактивных изотопа.

Бериллий обладает уникальными физическими и механическими свойствами: малый удельный вес ($1,848 \text{ г/см}^3$), высокая прочность и упругость, способность выдерживать большие температуры, высокая теплопроводность, хорошая коррозионная стойкость и специфические ядерно-физи-

ческие характеристики – малое поперечное сечение захвата тепловых нейтронов и большое поперечное сечение их рассеяния, устойчивость в условиях облучения и высоких температур.

Кларк бериллия – 1,5 г/т, однако, если учесть, что бериллий имеет большую атомную массу, то его распространенность от числа атомов выше чем у цезия и танталла - 0,0006% в земной коре. Среднее содержание бериллия закономерно возрастает от ультраосновных пород к кислым. Повышенные содержания бериллия отмечаются также в щелочных породах. Важную роль в геохимическом поведении бериллия играет его амфотерность, вследствие чего он одинаково образует собственные минералы как в кислотной среде, так и в щелочной.

Большое влияние на поведение бериллия оказывает фтор. Фтор образует с бериллием устойчивые комплексы и является главным переносчиком бериллия в гидротермальных месторождениях. Не случаен постоянный парагенезис в них бериллия с флюоритом.

Всего известно 59 минералов бериллия: преобладают силикаты, в меньшей степени фосфаты. Все минералы – либо оксиды, либо соли кислотных кислот.

Промышленные минералы: берилл $\text{Al}_2\text{Be}_3 [\text{Si}_6\text{O}_{18}]$, фенакит Be_2SiO_4 , хризоберилл Al_2BeO_4 , берtrandит $\text{Be}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2$, гельвин-даналит $\text{Mn}_4[\text{BeSiO}_4]\text{S} - \text{Fe}_4[\text{BeSiO}_4]\text{S}$.

Бериллий эффективно используется в машино- и приборостроении, атомных реакторах и АЭС, авиаракетной и космической технике, судостроении, военной технике (атомное оружие и др.), электротехнике, радиоэлектронике, металлургии, термоядерных электростанциях. Бериллий и его сплавы отличаются уникальным сочетанием различных свойств. Конструкционные материалы на основе бериллия обладают одновременно и легкостью и прочностью и стойкостью к высоким температурам. Будучи в полто-

ра раза легче алюминия, эти сплавы в то же время прочнее многих специальных сталей. Эти качества и сам бериллий не утрачивают при температуре 700-800⁰С, поэтому используются в авиационной и космической технике. Недостатком бериллия являются его хрупкость и токсичность. Все соединения бериллия ядовиты. Бериллий стоек к радиации, выполняет роль отражателя нейтронов.

Общие запасы BeO в мире превышают 1,4 млн.т. Наиболее крупные запасы сосредоточены в Бразилии (25%), России (>24%), Индии (11%), Китае (7%). Подтвержденные запасы оцениваются в 190 тыс.т. До 50-х годов основным источником бериллия были пегматитовые и в меньшей мере грейзеновые месторождения. В 50-е годы появились первые находки гидротермальных месторождений. В последние годы ведущее положение в добыче бериллия заняли США, Китай и Россия (рис. 3.3.), эти же страны являются главными производителями бериллия. Крупные месторождения известны в США (Спер-Маунтин), Бразилии (Боа-Виста), Мексике (Агуачилла), Канаде (Силл-Лейк).

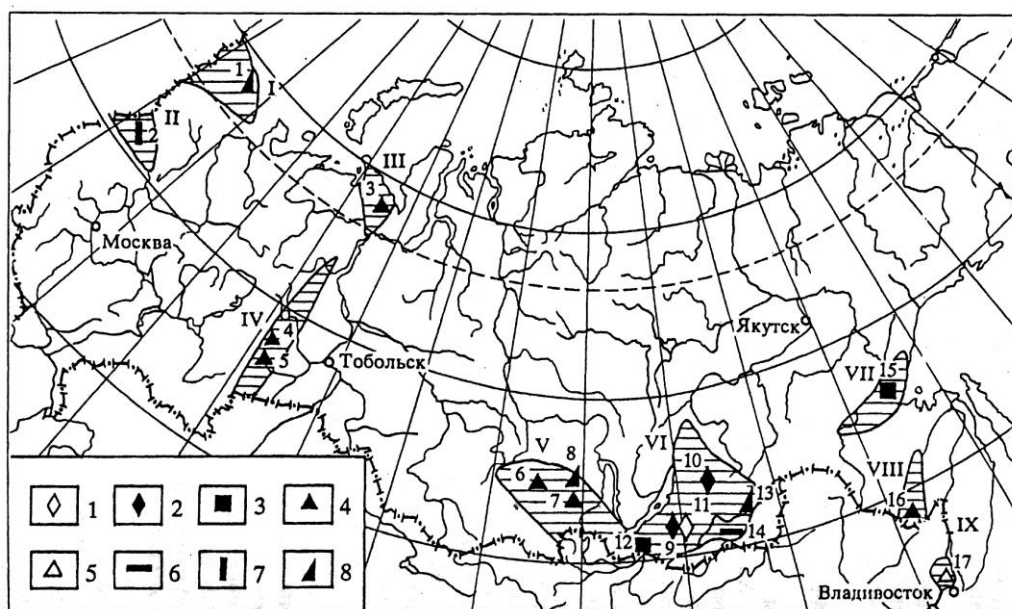


Рис. 3.3. Схема размещения основных бериллиеносных провинций и месторождений бериллия России (по И. Куприяновой и др., 1996):

Бериллиеносные провинции: I — Карело-Кольская, II — Свекло-Фенская, III — Полярно-Уральская, IV — Восточно-Уральская, V — Алтае-Саянская, VI — Забайкальская, VII — Алданская, VIII — Буреинская, IX — Ханкайская.

Месторождения и рудопроявления: 1 — Полмостундровское, 2 — Хопунвара, Укса, 3 — Орлиное, 4 — Малышевское, 5 — Боевское, 6 — Казырское, 7 — Снежное, 8 — Вишняковское, 9 — Ермаковское, 10 — Ауникское, 11 — Оротское, 12 — Урминское, 13 — Завитинское, 14 — Шерловогорское, 15 — Бугундья, 16 — Преображенское, 17 — Вознесенское, Пограничное.

Крупными считаются месторождения с запасами BeO 100-40 тыс.т., рядовыми — 40-10 тыс.т. Богатые руды содержат 0,5% BeO и более, бедные 0,04-0,1%.

Генетические типы промышленных месторождений

Месторождения бериллия относятся к эндогенной серии. Выделяются типы: пегматитовый, полевошпатовых метасоматитов, грейзеновый, плутоногенный гидротермальный, вулканогенный гидротермальный.

Гранитные пегматиты (формация редкометальных пегматитов).

Бериллий характерен для всех типов редкометальных месторождений. Наиболее крупные месторождения представлены литийсодержащими типами пегматитов, а именно - сподумен-микроклин-альбитовыми и альбит-сподуменовыми. Благодаря крупным размерам (до 2х0,6м) и правильной форме кристаллов берилл извлекается ручной выборкой.

Кристаллы находятся на границе зоны блокового микроклина и кварцевого ядра (рис.3.4.). Пегматитовые тела длиной 100-150м и мощностью 5-30м имеют линзо- и жилообразную форму. Возраст пегматитов рифейский или фанерозойский. В альбитовых пегматитах среднее содержание BeO достигает 0,1-0,2%. В них наряду с бериллом промышленный интерес приобретает танталит-колумбит (содержание Ta₂O₅ 0,012-0,022%).

Наиболее важные месторождения рудоразборного берилла находятся

в Бразилии, Заире, Зимбабве.

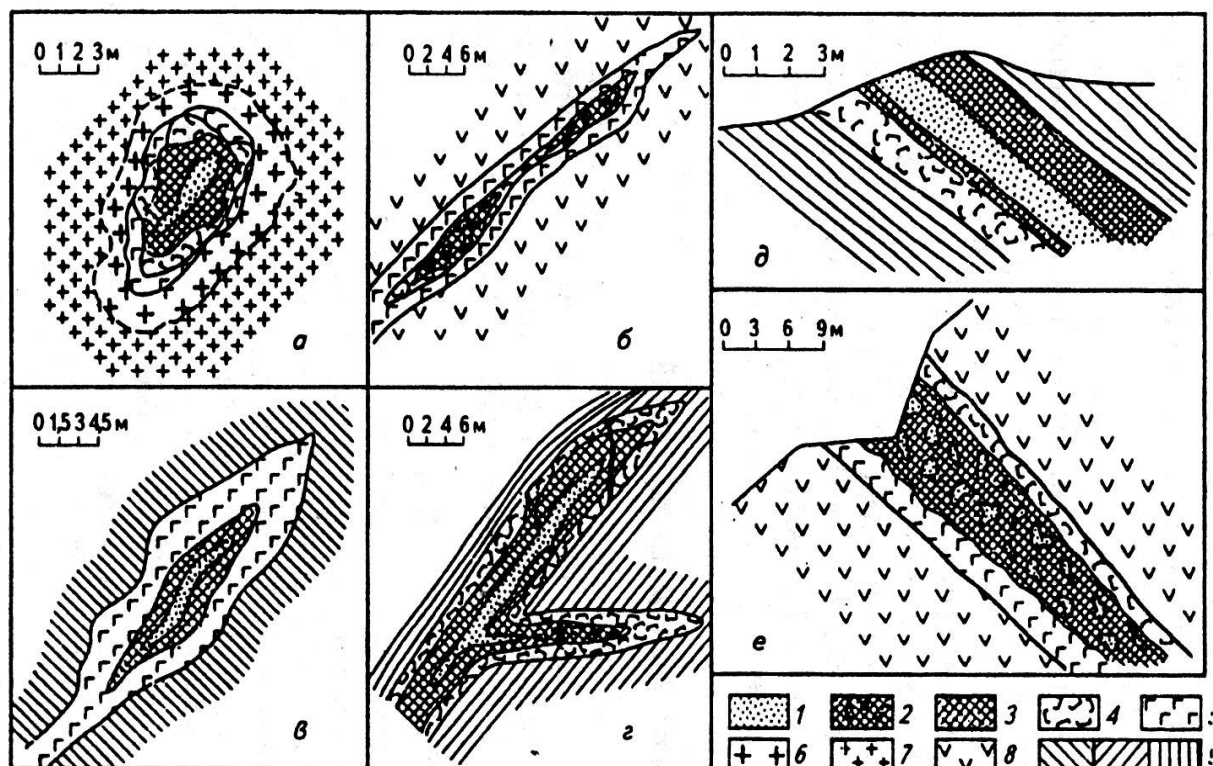


Рис. 3.4. Геологические планы (а-г) и разрезы (д, е) крутопадающих тел микроклиновых пегматитов:

1 — зона блокового кварца; 2 — блоковая кварц-микроклиновая зона; 3 — зона блокового микроклина I; 4 — пегматоидная кварц-микроклиновая; 5 — графическая кварц-микроклиновая; 6 — неравнозернистая кварц-альбит-микроклиновая; 7 — гранит; 8 — габбро; 9 — метаморфические сланцы.

Редкометалльные грейзены. В настоящее время разрабатываются два типа месторождений: олигоклаз-флогопитовые жилы и кварц-вольфрамит-берилловые жилы.

Олигоклаз-флогопитовые жилы известны в Египте, Южной Африке, Австралии, Индии и России (изумрудные копи). Генезис этих месторождений вызывает разные суждения. Некоторые исследователи относят их к гранитным (десилицированным) пегматитам. Все известные месторождения приурочены к экзоконтакту крупных гранитных интрузий и находятся в ме-

таморфических толщах сложного состава с останцами серпентинизированных ультраосновных пород. Изумрудоносные жилы локализованы только в ультраосновных породах, преобразованных в серпентиновые, тальковые, актинолит-тальковые и другие сланцы.

Олигоклаз-флогопитовые жилы имеют мощность от 0,5 до 6 метров, образуют сложно ветвящиеся тела общей мощностью до десятков метров, прослеживающиеся по простиранию и падению на сотни метров. Для жил характерно зональное строение. В центральной части находится плагиоклазит, по обе стороны от плагиоклазита симметрично располагаются флогопитовая, актинолитовая и тальковая зоны. Изумруд, как правило, встречается во флогопитовой зоне, в единичных случаях присутствует в тальковой и актинолитовой зоне. Кристаллы изумруда имеют размеры от 1х1х3 см до 1,5х1,5х8см. На месторождении Сомерсет (ЮАР) был найден изумруд размером 14х35см, считающийся самым крупным в мире (24000 карат). Берилл образует кристаллы размером от 0,5х0,5х1,5 до 5х6х15см. Скопления берилла иногда достигают значительных размеров. Бериллий содержащий маргарит в некоторых месторождениях распространен довольно широко. Фенакит, хризоберилл, александрит и берtrandит редки.

Изумрудные копи разрабатываются на берилл и изумруд. Запасы BeO превышают 10 тыс.т. при содержании до 0,15%.

Кварц-вольфрамит-берилловые жилы и кварц-молибденит-вольфрамитовые жилы с бериллом часто располагаются в пределах одного месторождения и имеют взаимные переходы, это хорошо изучено на примере месторождений Казахстана.

Выделяются как типичные грейзены (площадная грейзенизация), образованные по апикальной части гранитного купола, так и кварцевые жилы с маломощными околожильными слюдяными оторочками. Кварц-берилловые рудные жилы располагаются в сланцах над интрузивным купо-

лом. Максимальная протяженность жил на глубину 300 метров. Рудные жилы имеют длину до нескольких сотен метров. Наряду с жилами хорошо развиты штокверковые зоны. В кварц-берилловых жилах выделяются следующие минеральные ассоциации: кварц-вольфрамит-молибденит-берилловая, кварц-берилловая, флюорит-мусковит-кварц-берилловая, топаз-кварц-берилловая. Основной жильный минерал – кварц; второстепенные – мусковит, топаз; рудные – берилл, молибденит, вольфрамит, берtrandит.

В целом бериллоносные грейзены по содержанию BeO в пять-десять раз богаче пегматитов, но берилл мелкий и может извлекаться только флотацией. Запасы месторождений исчисляются тысячами тонн BeO.

Плутогенные гидротермальные месторождения представлены двумя типами: мусковит-турмалин-флюоритовыми с хризобериллом и мусковит-литоинит-флюоритовыми с фенакитом, известны в США (Аляска, Нью-Мексико), Китае, Норвегии, России. В России в месторождении Вознесенском (Дальний Восток) оба типа совмещены.

Флюоритизированные бериллиеносные зоны приурочены к известнякам экзоконтакта штокообразного гранитного массива. Рудные тела образуют метасоматические трубообразные, линзообразные тела и сложной формы с апофизами. Глубина распространения руд 300-350м. Верхние горизонты рудных тел сложены слюдисто-флюорит-фенакитовыми рудами, нижние - кальцит-слюдисто-фенакитовыми.

Слюдисто-флюоритовые руды имеют сложный состав. Главные минералы – флюорит (50-75%) и слюды (20-40%), представленные мусковитом, циннвальдитом, литионитом, в отдельных случаях широко развит топаз.

Помимо бериллия эти месторождения являются носителями редких щелочных элементов. Содержание Li_2O - 1%, Rb_2O – 0,5%, CsO – 0,02%.

Флюоритовые метасоматиты с фенакитом и берtrandитом - месторождение Ермаковское (Россия, Бурятия). Месторождение генетически свя-

зано с аляскистыми гранитами и размещаются в экзоконтакте апикальной части (рис. 3.5.). Форма рудных тел неправильная и линзообразная, мощность местами достигает первых десятков, а протяженность – первых сотен метров. Бериллиевое оруденение представлено берtrandитом в верхних горизонтах и фенакитом – в нижних. Содержание BeO в рудах местами достигает нескольких процентов, в среднем 1,2%.

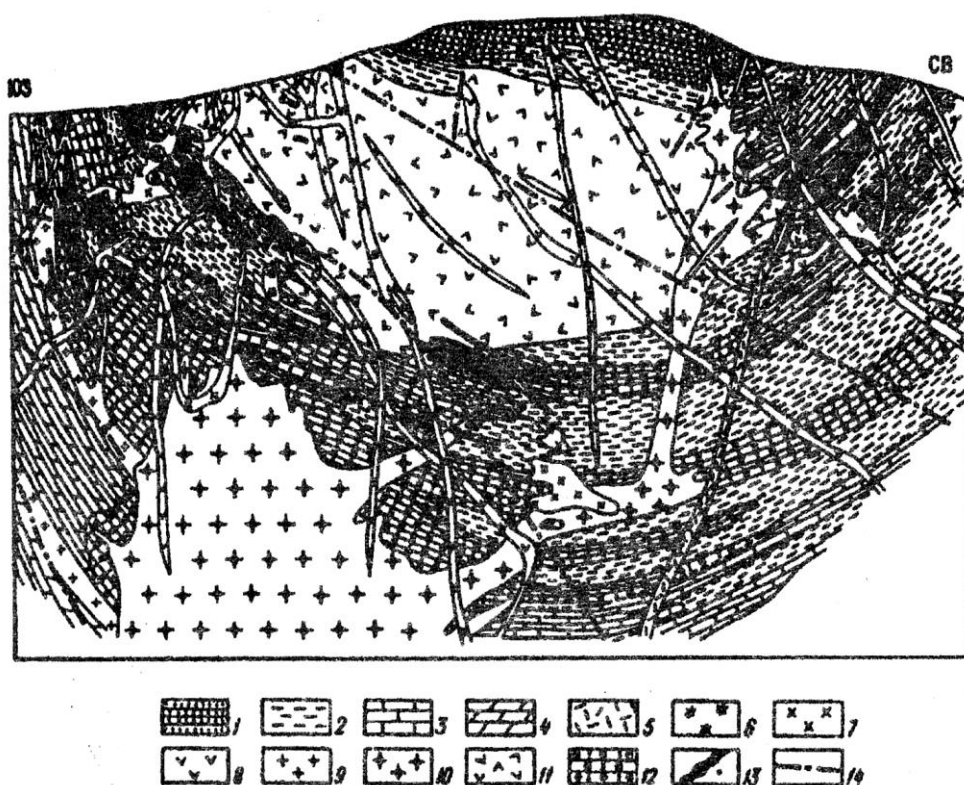


Рис. 3.5. Схематический геологический разрез вкосте простирания тектонических структур месторождения Ермаковское (по В.И. Гальченко, 1972):

1 - песчаники; 2 - сланцы; 3 - известняки; 4 - доломиты; 5 - фельзит-порфиры; 6 - лейкократовые сиенит-порфиры; 7 - роговообманковые сиенит-порфиры; 8 - диоритовые порфиры; 9 - биотитовые граниты, плагиограниты; 10 - субщелочные граниты и граносиениты; 11 - скаполитизированные габбро-диориты; 12 - скарны; 13 - рудные тела; 14 - тектонические нарушения.

Помимо крупного Ермаковского месторождения на территории России разведаны многочисленные месторождения этого типа в 9 основных провинциях (рис. 3.3.).

Вулканогенные гидротермальные месторождения. Примером может служить месторождение Спер-Маунтин (США). Бериллиеносные руды локализуются в туфах риолитовых порфиров. Минерализованные зоны - халцедон-монтмориллонит-флюоритовые метасоматиты с берtrandитом представляют собой серию крупных межпластовых залежей, которые вытянуты по простиранию на сотни и тысячи метров и состоят из отдельных пластообразных тел, залегающих согласно с вмещающими туфами. Наиболее крупные тела с промышленным содержанием бериллия прослеживаются по падению на 1-2 км при мощности до 15 м и выше. Запасы исчисляются многими миллионами тонн руды, содержащей не менее 0,5% BeO. Руды содержат значительное количество лития и повышенные концентрации цезия.

Месторождение Спер-Маунтин подверглось экзогенной переработке в четвертичное время. В результате в слоистых залежах монтмориллонитовых глин содержание BeO возрастает до 3%.

Месторождения циркония

Цирконий открыт в 1789 году немецким химиком Клапротом. Чистый цирконий был впервые получен лишь через 90 лет Берцелиусом. Это блестящий, похожий на сталь, металл, пластичный и тугоплавкий ($T_{пл.}=1825^{\circ}C$). Цирконий химически стойкий металл, на воздухе он покрывается защитной пленкой ZrO_2 , предохраняющей его от коррозии. Он не растворяется в щелочах, соляной и азотной кислотах.

Кларк циркония 170 г/т в земной коре. Промышленные минералы циркония – циркон ($ZrSiO_4$) и бадделеит (ZrO_2), возможен эвдиалит. В природе

цирконию всегда сопутствует гафний. Разделение циркония и гафния и ныне трудная химическая проблема. Гафний отнесен к числу рассеянных элементов, единственный собственно гафниевый минерал – гафнон.

Цирконий широко используется в промышленности, причем основная его часть потребляется в виде концентратов или в виде диоксида циркония, лишь 10% концентрата перерабатывается в металл. Циркон или технический диоксид циркония применяется в литейном деле, в изготовлении огнеупоров, стекла и керамики. Металлический цирконий и его сплавы применяются в ядерных реакторах, ракетной и космической технике, химическом машиностроении.

Гафний – поглотитель нейтронов – применяется в качестве защиты от радиации, в контрольной аппаратуре на АЭС, карбид гафния в качестве покрытия космических кораблей.

Генетические типы промышленных месторождений

В настоящее время цирконий практически добывается из экзогенных месторождений, в коренных месторождениях он не имеет самостоятельного значения и представляет интерес лишь как попутный компонент. Наибольшие запасы среди эндогенных месторождений приходятся на щелочные граниты, нефелин-калишпатовые массивы.

На экзогенные месторождения приходится больше половины мировых запасов этого металла. Причем основная масса запасов (96%) представлена месторождениями цирконовых литоральных (прибрежно-морских) и внутриконтинентальных древних россыпей.

Аллювиальные россыпи образуются по течению рек на большом удалении от коренного источника, преобладают монацит и циркон в ассоциации с ильменитом и магнетитом. Содержания монацита и циркона не превышают первых сотен граммов на тонну, но иногда встречаются мелкие богатые россыпи. Запасы минералов изменяются в широких пределах. Пре-

обладают мелкие месторождения. В среднем запасы отдельной россыпи не превышают 480 тонн.

Прибрежно-морские современные и древние россыпи по фациальному признаку различаются: пляжные, прибрежно-террасовые, дюнные, дельтовые и россыпи подводного склона.

За рубежом наибольшее экономическое значение имеют современные россыпи океанических пляжей Австралии, Индии, Бразилии, Африки, Новой Зеландии и др. Россыпи прослеживаются на десятки и даже, с перерывами, на сотни километров. Концентрации циркона, ильменита, монацита и других ценных минералов в месторождениях изменчивы. В крупных ильменит-цирконовых россыпях побережий Африки содержания ильменита от 110 до 750 кг/т, циркона – от 50 до 400 кг/т. Существенно повышенные содержания монацита (до 80 кг/т) известны в россыпях на побережьях Индии, Бразилии, Шри-Ланки.

В России наиболее изучены древние (погребенные) россыпи. На востоке Западно-Сибирской плиты выявлено пять титан-циркониевых россыпных месторождений: Туганское, Тарское, Георгиевское, Николаевское, Ордынское и ряд проявлений в скважинах и выработках.

Мощность россыпей от 1–5 до 7–10 и даже 27 м, ширина их от 200 м до 4 км. Содержание циркона от 2–3 до 30 кг/м³, содержание ильменита от 7–10 до 80–120, содержание рутила до 10 кг/м³. В тяжелой фракции преобладают ильменит с лейкоксеном, составляющие иногда 80% шлиха, присутствуют дистен, ставролит, турмалин, гранаты, силлиманит, монацит, ксенотим, реже эпидот, хромит, шпинель. В крупнообъемных технологических пробах отмечены мелкие зерна алмазов, в основном обломки кубоидных кристаллов метаморфогенного происхождения.

Туганское месторождение представляет собой первоочередной объект для разработки и добычи титановой, циркониевой руд и многочисленных

редких, редкоземельных и радиоактивных элементов. Туганские россыпи изучены и разведаны. Предложены методика добычи песков карьерами до 80–100 м глубиной и технология их обогащения. Хвосты россыпи могут использоваться как кварцевые, стекольные пески и каолиновые глины..

Месторождение ниобия и тантала (Nb и Ta)

Ниобий и тантал – элементы пятой группы таблицы Д.И.Менделеева. Ниобий был открыт в 1801 году английским химиком Ч. Гетчеттом, а тантал в 1802 году шведским химиком А.Экебергом. Оба элемента близкие по физическим и химическим свойствам тесно связаны в природных процессах, вследствие чего геологию этих элементов удобно рассматривать вместе.

Плотность ниобия $8,5 \text{ г/см}^3$. Тантал почти в два раза плотнее - $16,6 \text{ г/см}^3$; температура плавления соответственно 2415^0 и $2996 + 50^0\text{C}$.

Ниобий – светло-серый металл, обладающий высокой химической стойкостью. На чистый ниобий не действуют никакие кислоты, кроме плавиковой. Сталь, легированная ниобием, отличается сочетанием жаростойкости и химической стойкости. Если в алюминий добавить всего 0,05% ниобия, то он перестает реагировать со щелочами. Ниобий увеличивает жаростойкость и повышает прочность титана, молибдена, циркония. Соединения ниобия с германием, оловом, алюминием и др. (интерметаллические соединения) приобретают свойство сверхпроводимости при температурах близких к абсолютному нулю. Чистые металлы - тантал и ниобий легко поддаются механической обработке; из тантала можно делать не только листы, но и тончайшую фльгу. Поглощая газы, оба металла становятся хрупкими. При повышенной температуре металлический тантал устойчивее, чем ниобий. Тантал отличается уникальным для металлов свойством приживаться в ор-

ганизме, не раздражая тканей. Танталовыми скрепками соединяют кровеносные сосуды, сухожилия, костную ткань.

Среднее содержание ниобия в земной коре 17,2 г/т, тантала – 1,5 г/т.

Наибольшие их содержания отмечаются в эндогенных щелочных породах. Ниобий и тантал – типичные оксифильные элементы. В природе известны только кислородные соединения этих элементов.

Минералогия ниобия и тантала исключительно богата. Известно 108 минералов ниобия и 47 минералов тантала. Между танталом и ниобием наблюдается непрерывный изоморфизм. Тантал и ниобий наиболее часто замещаются близкими по размеру ионных радиусов титаном и оловом. Во многих оксидах титан преобладает над ниобием. Для минералов тантала характернее присутствие олова. Редкие земли в количестве до 35% (иногда 50%) являются самой распространенной составной частью сложных оксидов тантала и ниобия. В большей части сложных оксидов тантала и ниобия присутствует уран, иногда вместе с торием.

Из минералов ниобия практическое значение имеют: пирохлор $\text{NaCaNb}_2\text{O}_6\text{F}$, в меньшей мере – колумбит FeNb_2O_6 и лопарит $\text{NaCe}(\text{Ti},\text{Nb})_2\text{O}_6$.

Из минералов тантала практическое значение имеют: танталит FeTa_2O_6 , микролит $\text{NaCaTa}_2\text{O}_6\text{F}$ и воджинит $\text{MnSnTa}_2\text{O}_8$.

Из минералов, в которых ниобий и тантал находятся в виде примесей, практическое значение имеют ильменит, рутил, перовскит, сфен, касситерит и вольфрамит.

Руды эндогенных месторождений с содержанием ниобия 0,1-0,3% считаются бедными, 0,3-0,6% – рядовыми, свыше 0,6% – богатыми; экзогенных месторождений: до 0,1% – бедными, 0,1-0,3% – рядовыми, свыше 0,3% – богатыми.

Руды эндогенных месторождений тантала являются бедными при содержаниях до 0,012%, рядовыми при содержаниях 0,012-0,018%, свыше 0,018% - богатыми; экзогенных – до 0,004% - бедными, 0,004-0,008% - рядовыми, более 0,008% - богатыми.

Эндогенные месторождения ниобия с запасами 100-500 тыс. т. считаются средними, 500-5000 – крупными, свыше 5000 тыс. т. – уникальными.

Прогнозные ресурсы Nb_2O_5 оцениваются в 110-120 млн. т., из них 96% сосредоточено в карбонатитовых месторождениях, 2% в щелочных породах, 2% в пегматитовых и россыпных месторождениях. Общие запасы составляют 11 млн.т., подтвержденные 8,7 млн. т.: из них 4,3 (49%) сосредоточено в Бразилии; 4,1 млн. т. (46,8%) в России, далее следуют Канада, Австралия, Уганда.

Основные российские месторождения – Томторское, Большетагнинское, Белозиминское, Тагарское, Ловозерское, Катугинское (рис.16).

Мировое потребление ниобия составляет 26,5 тыс.т. Основными производителями являются Бразилия, Канада. Главные потребители – США, Япония, Западная Европа.

Общие запасы Ta_2O_5 составляют 230 тыс.т., подтвержденные – 105 тыс. т. Наибольшими запасами обладают Австралия, Бразилия, Китай, Канада, Египет, Франция. Общий объем производства тантала в мире 1800 тонн, из них: 800 тонн получают из руд, 270 тонн из оловянных шлаков, остальное – вторичное производство. Основными поставщиками тантала (из руд) являются Австралия, Бразилия, Китай.

Генетические типы промышленных месторождений

Соотношения ниобия и тантала в месторождениях различного генезиса изменчивы в широких пределах, несмотря на близость их химических свойств. Поэтому признаку можно различать три группы месторождений:

- 1) собственно ниобиевые – карбонатиты с пирохлором, их коры выветривания и связанные с ними россыпи. Отношение содержаний Nb:Ta более 5;
- 2) тантало-ниобиевые – агпайтовые породы с лопаритом, щелочные граниты с танталпирохлором и колумбитом, связанные с ними коры выветривания и россыпи. Отношение содержаний Nb:Ta от 5 до 15. Оба металла имеют сопоставимое промышленное значение;
- 3) собственно танталовые – редкометальные гранитные пегматиты с танталлитами, редкометальные граниты с танталит-колумбитом микролитом. Хотя содержание ниобия может в несколько раз превышать содержание тантала, в стоимостном выражении тантал резко превалирует над ниобием.

Карбонатиты щелочно-ультраосновных массивов. Все рудоносные щелочно-ультраосновные массивы приурочены к древним платформам. Возраст щелочно-ультраосновного магматизма варьирует от позднего докембрия до современного. Примерно 7% всех массивов имеет позднедокембрийский возраст, 26% - палеозойский, 31% - мезозойский и 36% - кайнозойский. Площадь массивов составляет первые десятки квадратных километров, в среднем 4 км.². Большинство массивов представляет собой в плане изометричные, часто округлые тела. До изученной глубины 10 км они имеют колоннообразную форму и вертикальное залегание.

Основным ниобиевым минералом карбонатитовых месторождений является пирохлор, в единичных случаях главным минералом ниобия является колумбит, он возникает при замещении пирохлора на поздних стадиях карбонатитового процесса, второстепенным минералом ниобия является перовскит. Пирохлор в рудах распределен неравномерно и представлен вкрапленностью мелких зерен. Участки, обогащенные пирохлором, образуют полосы, линзовидные и неправильные тела, обычно они приурочиваются к трещинным зонам и участкам перекристаллизации ранних кальцитовых пород.

Наиболее крупные месторождения России, относящиеся к этому типу: Томторское (рис. 3.6.), Ковдор (Кольский полуостров), Белая Зима (Прибайкалье). Содержание ниобия в рудах Томтора – от нескольких до 4% процентов, в месторождении Белая Зима - 0,7%.

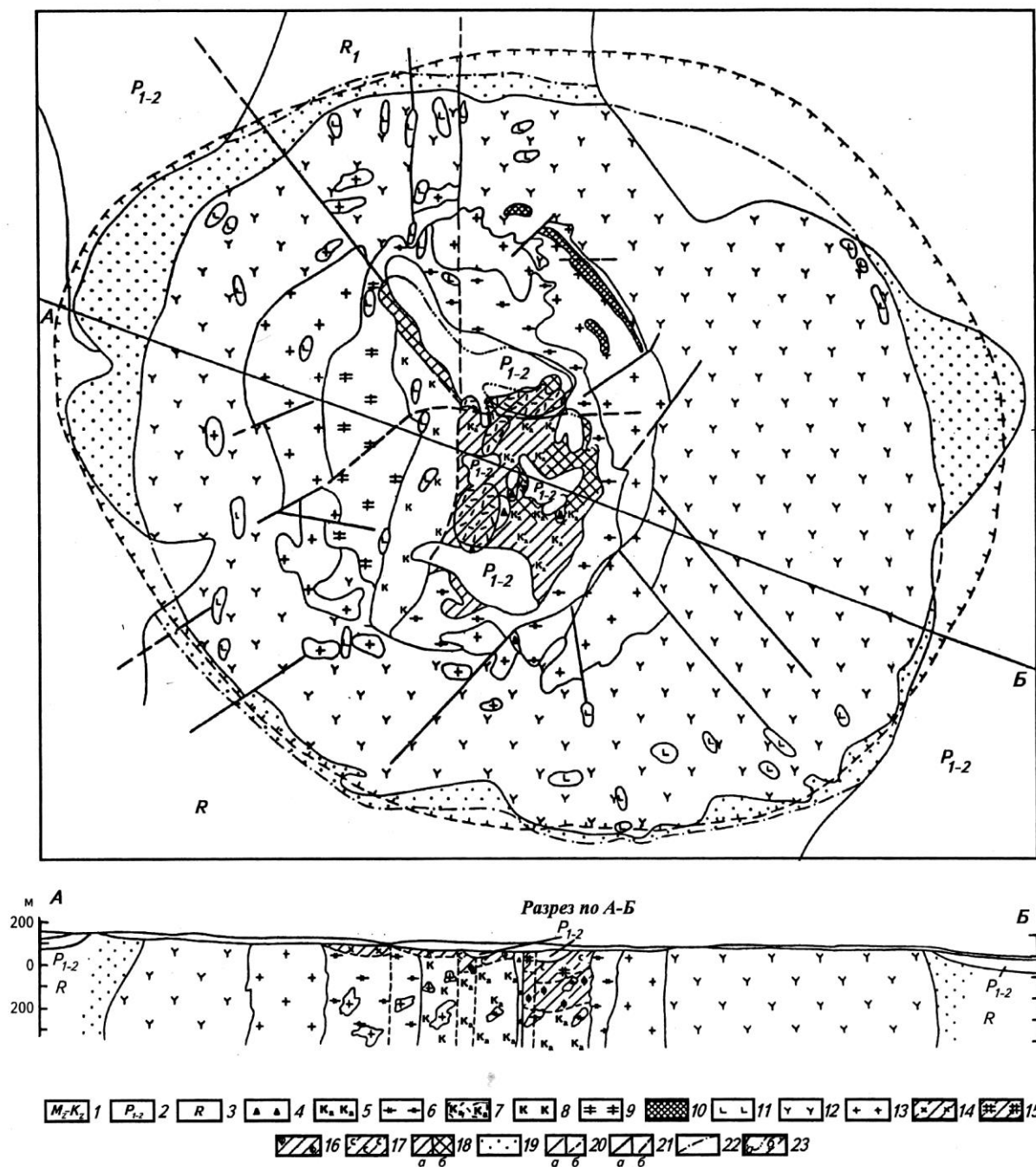


Рис. 3.6 . Геологическое строение массива Томтор (без чехла мезокайнозойских отложений), по А.В.Лапину и А.В. Толстову, 2003.

Условные знаки : Осадочный комплекс 1-3: 1 - кайнозойская и мезозойская группы, 2 — пермская система, 3 — рифей. Интрузивный и метасоматический комплексы: 4-10 - карбонатитовая серия - 4-7 - поздняя: 4 - эксплозивные карбонатитовые брекчии, 5 - поликарбонатные карбонатиты (доломит-анкеритовые, доломит-сидеритовые, кальцит-анкеритовые и др.), 6 - калишпат-апатит-слюдистые породы, 7 — слюдисто-карбонатные (шамозит-анкеритовые и шамозит-кальцитовые породы); 8-10 — ранняя: 8 — доломит-кальцитовые и кальцитовые карбонатиты, 9 - калишпат-амфибол-карбонатные (с доломитом, кальцитом и анкеритом) породы, 10 — кальцит-флогопит-магнетитовые породы; 11 — альнеит-тингваитовая серия: пикриты, альнеиты, пикритовые порфириды, лампрофиры; 12 - щелочные и нефелиновые сиениты; 13 — пироксениты, якупирангиты, мельтейгиты, ийолиты, уртиты. Гипергенный комплекс: 14 - каолинит-гидрослюдистые коры выветривания; 15 - лимонитовые; 16 - лимонит-франколитовые; 17 — сидеритизация пород коры выветривания; 18 - площадь развития кор выветривания: а - остаточных (железисто-фосфатных), б - осветленных (пирохлор-алюмофосфатных); 19 — зоны скарирования и мраморизации; 20 - геологические границы: установленные (а), предполагаемые (б); 21 -разрывные нарушения достоверные (а), предполагаемые (б); 22 — границы массива по данным магниторазведки; 23 - границы массива: перекрытые осадочным чехлом (а), по данным гравиразведки (б).

Месторождение Томтор расположено на северном краю Сибирской платформы между Анабарским щитом и Оленекским поднятием.

Крупнейший в мире Томторский полизональный массив щелочных (нефелин-калишпатовых) пород общей площадью 300 кв. км обладает уникальными запасами ниобия, циркония, редкоземельных элементов, апатита. Практически все породы массива в той или иной степени рудоносны, однако значимость их различна. Наиболее продуктивны поздние карбонатиты.

Возраст массива окончательно не установлен. Данные изотопной геохронометрии дают разброс от 860 до 350 млн. лет. Достоверно установлен нижний возрастной предел: во вмещающей толще рифея и венда на контакте с сиенитами развиты зоны скарирования и мраморизации карбонатных пород (Фролов и др., 2003).

Поздние карбонатиты занимают центральную часть массива (рис.): шамозит-кальцитовые, шамозит-анкеритовые, доломит-анкеритовые, калишпат-апатит-слюдистые породы общей площадью 5 кв. км. Ранние (кальцитовые) карбонатиты составляют 7 кв. км.

Карбонатиты покрыты корой выветривания мощностью от 100 до 400 м, отдельные крупные участки которой содержат высокие концентрации (в %): Nb_2O_5 – 7,7; редких земель иттриевой группы $(\text{TRy})_2\text{O}_3$ – 0,93; редких земель цериевой группы $(\text{TRce})_2\text{O}_3$ – 16,1; скандия - 0,062 Sc_2O_3 ; ванадия - 1,0 V_2O_5 ; стронция - 3,9 SrO ; бария - 5,6 BaO ; фосфора - до 30% P_2O_5 .

Основное рудное тело участка Буранный Томторского месторождения имеет сложную пластобразную форму, вытянуто на 2600 м в субмеридиональном направлении при ширине до 1400 метров. Очертания границ извилистые. Рудный пласт пироклор-монацит-крандаллитового состава приурочен к верхней части разреза коры выветривания карбонатитов, выделяемой как каолинит-крандаллитовый горизонт гипергенного комплекса массива Томтор (Фролов и др., 2003).

Карбонатиты данной формации – самые крупные и наиболее богатые месторождения ниобия, иногда одновременно небольшие месторождения тантала, циркония и гафния. Содержание Nb_2O_5 в месторождениях составляет 0,3-0,8% (месторождение Сев в Норвегии, Ока в Канаде, Сукулу в Уганде), в отдельных месторождениях содержание составляет несколько процентов (4% на месторождении Араша в Бразилии), а запасы – многие миллионы тонн.

Месторождения в нефелин-калишпатовых («агпаитовых») массивах. В настоящее время известно таких массивов около 10. Все они расположены на древних платформах: в России (Хибинский, Ловозерский - Кольский п-ов), в Бразилии, Гренландии, Гвинее, ЮАР.

Возраст массивов, подобно карбонатитовым, колеблется от верхнего протерозоя до мезозоя. Все массивы имеют в плане округлую форму, в разрезе – грибо- или воронкообразную. Борты всегда падают к центру массива. Массивы крупные – от 120 до 1300 км.² (Хибины). Принадлежность Хибинно-Ловозерского комплекса к карбонатитовым образованиям доказана выявленным карбонатитовым штоком в составе Хибинского массива (Фролов и др., 2003).

Во всех массивах отмечаются общие черты: массивы всегда зональны и зональность имеет концентрический характер; зоны образуются в последовательности от лейкократовых пород к меланократовым; процесс кристаллизации всегда направлен в сторону увеличения коэффициента агпаитности.

Минеральный состав массивов чрезвычайно сложен и разнообразен. В составе породообразующих минералов помимо каликатовых полевых шпатов и нефелина, присутствуют канкринит, содалит, анальцит, лейцит, эгирин, эвдиалит, мурманит, астрофиллит, сфен, апатит и др. Главными редкометальными минералами являются лопарит и эвдиалит. Концентраторами редких металлов являются следующие разновидности пород: апатит-нефелиновые, эвдиалитовые луявриты, ловозерские луявриты и др.

Наиболее изученным является Ловозерский массив, он отделен от Хибинского озером Умбозеро, слагая платообразную горную структуру – Ловозерские тундры возвышенные над холмистой равниной почти на 1000 м. Возраст сопоставим с возрастом Хибинского массива (362 ± 17 млн. лет).

Массив сложен комплексом луявритов-фойяитов-уртитов, в котором эти трехслойные, полого падающие к центру пачки, многократно повторяются на площади 600 кв.км. В каждом трехслойном ритме слагающие их породы имеют постепенные переходы, а между ритмами контакты резкие. Такие контакты могут возникать лишь при внезапном изменении физико-

химических условий кристаллизации. Минеральный состав ритмов чрезвычайно разнообразен. В качестве породообразующих минералов присутствуют полевые шпаты и нефелин, содержание которых превышает 10-15 %, а также эгирин, роговая обманка, эвдиалит, сфен, апатит и другие в целом не менее 10% каждого. Типичными второстепенными являются магнетит, ильменит. Лопаритоносные уртиты мощностью от 0,5 до 2,7 м присутствуют в Ловозерском массиве почти в каждой луяврит-фойяит-уртитовой пачке и прослежены в виде очень пологозалегающих слоев на десятки километров. Главные минералы-носители ниобия и тантала – лопарит, эвдиалит, мурманит, сфен и др..

Ловозерское месторождение – одно из самых крупных в мире месторождений тантала, ниобия и редких земель цериевой группы.

Редкометальные граниты с танталит-колумбитом и микролитом. Примером являются Этыкинское и Орловское месторождения в России. Редкометальные граниты образуют мелкие, реже средние по масштабу месторождения тантала (с запасами до 10-15 тыс.т.) при содержании в среднем 0,013-0,15% Ta_2O_5 , из которых попутно могут добываться Li, Rb и Sn.

Месторождения приурочены к куполам гранитных массивов или их пологим эндоконтактам. Граниты сложены кварцем, альбитом и калиевым полевым шпатом (микроклин). Редкометальные минералы представлены лепидолитом, микролитом, танталитом-колумбитом, касситеритом, амблигонитом. Промышленное оруденение прослеживается на глубину десятков метров, редко до 150 м. На месторождениях наблюдается вертикальная зональность: лепидолит с глубиной сменяется криофиллитом, мусковитом и биотитом, микролит – танталитом и колумбитом. Резко уменьшается содержание Ta_2O_5 : 0,03-0,04% - в прикупольной части; 0,01% - в нескольких десятках метров от зальбанда; 0,005% и менее – на глубине 100-200м. Од-

новременно уменьшается величина соотношения Ta_2O_5/Nb_2O_5 от 1,5 до 0,2%.

Пегматитовые месторождения (формация редкометальных гранитных пегматитов). В настоящее время насчитывается около тысячи месторождений подобного типа - Берник-Лейк (Канада), Дарае-Пич (Афганистан), Эта (США) и др.. Основные запасы приходятся на долю пегматитов, расположенных в пределах древних платформ и докембрийских срединных массивов. На докембрийские месторождения приходится около 80% всех пегматитовых запасов тантала и ниобия.

Промышленное значение имеют гранитные пегматиты следующих типов: микроклиновые с бериллом и колумбитом; микроклин-альбитовые с бериллом и танталит-колумбитом; сподумен-микроклин-альбитовые с лепидолитом и петалитом, поллуцитом, танталитом, бериллом; альбитовые с танталитом, бериллом и касситеритом; альбит-сподуменовые с бериллом и колумбитом.

Протяженность пегматитов обычно не превышает десятков или первых сотен метров, а альбит-сподуменовых достигает 3 км. Среднее содержание Ta_2O_5 составляет 0,006-0,01%. Запасы не превышают 3-5 тыс.т. Ta_2O_5 .

Редкометальные пегматиты до последнего времени почти целиком обеспечивают редкометальную промышленность танталом, при этом основная добыча осуществляется из пегматитовых кор выветривания и связанных с ними россыпей.

В случае присутствия в пегматитах танталита отмечается обогащение танталом мусковита, касситерита, шерла, что можно использовать в качестве поискового признака на тантал.

Наиболее крупным из известных в настоящее время концентраций тантала в пегматитах является месторождение Берник-Лейк (Канада, штат

Манитоба). Танталоносное пегматитовое тело представлено здесь силлом, который имеет зональное строение. От периферии к центру выделяются берилловые, сподуменовые, лепидолитовые и танталитовые зоны. Запасы танталитовой руды составляют 1,87 млн.т. с содержанием Ta_2O_5 0,23%; сподуменовой – 4,54 млн.т. с содержанием Li_2O – 2,24%; поллуцитовой руды 330 тыс.т. с содержанием Cs_2O – 20,4%.

Крупным поставщиком танталовых руд является Бразилия, где танталит связан с пегматитовыми полями штатов Параиба и Рио-Гранте-де-Норте. Тантал извлекается из зональных пегматитовых жил, из которых добываются также берилл и сподумен.

Альбитит-грейзеновые месторождения представляют кислые и щелочные изверженные породы, подвергшиеся постмагматическому щелочному метасоматозу. Месторождения характеризуются комплексной минерализацией: Be, Nb, Ta, TR. Месторождения известны на Урале, в Восточных Саянах. Из зарубежных наибольшей известностью пользуются месторождения Северной Нигерии, США, Казахстана. Ниобий является характерным минералом альбитит-грейзеновых месторождений и накапливается в них до концентраций в 100-500 раз превышающих кларки. Главные минералы ниобия этих месторождений – колумбит и пирохлор. Тантал – менее характерный элемент, присутствующий в колумбите, пирохлоре и микролите. Оба элемента накапливаются также в касситерите.

Экзогенные месторождения ниобия и тантала представлены россыпями: элювиальными, делювиальными, аллювиальными и прибрежно-морскими. Разрабатываются они в ряде стран.

Наибольшее практическое значение имеют элювиальные россыпи (коры выветривания) Нигерии. Большое значение придается корам выветривания на карбонатитовых месторождениях, где содержание ниобия в 1,5-2 и более раз выше, чем в коренных рудах. Следует иметь в виду, что ко-

лумбит и танталит на далекие расстояния не переносятся. Источником россыпей являются главным образом редкометальные пегматиты, колумбитоносные граниты, а также альбитит-грейзеновые месторождения. Частым спутником колумбита в россыпях является касситерит (россыпи Нигерии, Уганды, Индонезии) или монацит, циркон, золото (россыпи штата Айдахо, США).

3.3. Месторождения халькофильных рассеянных металлов

Рений (Re) предсказал Д.И. Менделеев в 1871 году, а в 1925 году немецкие ученые обнаружили его спектральным методом. Наряду с сульфидными, рений обладает сидерофильными, оксифильными и органофильными свойствами. Оксиды рения обладают высокой летучестью, что приводит к занижению результатов анализа его содержаний.

Чистый рений – серебристый металл, по тугоплавкости он уступает только вольфраму, температура плавления 3180°C.

Содержание рения в земной коре систематически не изучено. Кларк рения по А.П. Виноградову 0,7 мг/т. Он относится к числу типичных рассеянных элементов, хотя в природе уже установлено шесть собственных минералов рения.

Минералами-носителями рения являются сульфиды, среди которых преобладает молибденит; содержание рения в нем до 0,3%.

Использование рения в новейших технологиях весьма существенное. Платино-рениевые катализаторы способствуют упрощению процесса крекинга нефти, повышению выхода высокооктанового бензина. Большое значение он приобрел в изготовлении термопар, электроконтактов, нитей накала и других деталей в атомной, авиаракетной и космической технике.

Производство рения полностью основано на его попутном извлечении из молибденовых концентратов меднопорфировых руд, а также из руд медистых песчаников и сланцев.

В России недавно разведано собственное эксгаляционное месторождение рения в кратере вулкана на острове Кунашир (Курилы). В настоящее время не эксплуатируется.

Кадмий(Cd) открыт в 1817 году немецким химиком Ф.Штромейером. По химическим и физическим свойствам кадмий больше всего похож на цинк. На связь с цинком указывает и название элемента. Греческим словом «кадмеа» издавна обозначали цинковые руды и оксид цинка, в котором и был открыт кадмий. Это серебристо-белый металл, мягкий, его легко ковать и прокатывать.

На воздухе кадмий тускнеет, покрываясь оксидной пленкой CdO , которая предохраняет его от дальнейшей коррозии. Он медленно растворяется в кислотах, но к действию щелочей, в отличие от цинка, устойчив.

Кадмий принадлежит к числу рассеянных элементов с низким кларком содержания в земной коре – 0,13 г/т (130 мг/т).

Собственные минералы кадмия в природе обнаруживаются довольно редко (выявлено 11 минералов – сульфидов кадмия) и не имеют самостоятельного промышленного значения, за исключением одного рудопроявления в Боливии цинково-кадмиево-серебряного состава. Чаще других встречается гринокит CdS . Среди минералов-носителей особенно высокие содержания кадмия характерны для сульфидов: сфалерит (до 82 кг/т), халькопирит (до 1,2 кг/т), тетраэдрит (от 0,5 до 17,9 кг/т), борнит (до 1,0 кг/т).

Кадмий имеет широкое применение: сплавы с медью, обладающие высокой электропроводностью; металлокерамические контакты; подшипники; свинцовые, алюминиевые и магниевые сплавы; кадмиевые бронзы; припои; полупроводники; аккумуляторные батареи и др. Кадмий широко

используют в атомных реакторах как материал для регулирующих стержней, так как изотоп ^{113}Cd прекрасно поглощает тепловые нейтроны. Много кадмия идет на антикоррозионное покрытие жестяных и стальных изделий, здесь он работает также как и его аналог – цинк.

Некоторые соединения кадмия ярко окрашены. Например, из сульфида кадмия получают желтые краски различных оттенков. В лакокрасочной промышленности используют продукт реакции сульфата кадмия с сульфидом бария – кадмонон.

Кадмий относится к числу стратегических металлов. В США лимит на правительственное хранение составлял 11,2 тыс.т. с 1997 года. Достоверные мировые запасы кадмия оцениваются примерно в 1 млн. тонн, ресурсы – 1,2 млн. т. Производство кадмия в 1993 году достигло 20 тысяч тонн

Большая часть активных запасов кадмия находится в различных свинцово-цинковых, медно-цинковых колчеданных, гораздо меньшая – в медных, олово-сульфидных, золото-сульфидных и некоторых других месторождениях, в которых практически весь кадмий заключен в основных рудообразующих сульфидных минералах. Наиболее важный его минерал-носитель – это сфалерит.

Малозначимы в практическом отношении собственно кадмиевые рудопроявления Боливии, представленные сульфосолями серебряно-свинцово-кадмиевых руд, содержащих до 11% кадмия. Важными в промышленном отношении являются уникальные медно-свинцово-цинково-германиевые руды цумебского типа (Намибия), содержащие 1,2 кг кадмия на 1 т руды. Месторождение Цумеб приурочено к верхнепротерозойским осадочным породам. Рудное тело Цумеба трубообразное. Руды сплошные, брекчиевые, прожилковые, реже вкрапленные. Оруденение прослеживается на глубину около 1000 м.

Галлий (Ga) был предсказан Д. Менделеевым («экаалюминий») в 1871 году, а в 1875 году французский химик Лекок де Буабодран обнаружил его спектральным методом в сфалерите. Открытие галлия стало первым триумфом периодического закона Менделеева.

Свойства галлия поразительно точно совпали со свойствами «экаалюминия». Это серебристо-белый металл, переходит в жидкое состояние при температуре $29,7^{\circ}\text{C}$, но температура его кипения высока – 2230°C . В воде и на воздухе галлий устойчив, окисляется при температуре 260°C , непосредственно реагирует с галогенами, серой, фосфором, растворяется в кислотах и щелочах.

Кларк галлия в земной коре 18 г/т. В магматических породах максимальное содержание галлия характерно для кислых и щелочных пород (30-40 г/т), минимальное в ультрабазитах (2г/т.). Несмотря на относительно высокий кларк, галлий – рассеянный элемент. Минералы - концентраторы галлия: нефелин (20 – 40 г/т) и содалит (70 – 500 г/т). Содержание галлия в бокситах колеблется от 10 до 140, чаще 50-70 г/т. Обнаружено только четыре собственных минерала - три сульфида и оксид.

Галлий как жидкость существует в очень большом диапазоне температур, поэтому его применяют в термометрах для измерения высоких температур.

Соединения галлия используются при производстве лазеров, светоизлучающих диодов, для панелей калькуляторов, радиоприборов, телевидения, часов, инструментов, запоминающих устройств ЭВМ и др. Галлий входит в состав важных полупроводниковых, а также легкоплавких сплавов, которые применяют в сигнальной технике, в ювелирном деле.

Свыше 90% мирового производства галлия получается на глиноземных заводах. В России промышленные запасы по состоянию на 1982 год распределялись так (в %%): в алюминиевых рудах – 82 (в том числе в нефе-

линах – 59, бокситах – 18, алинитах – 5), в цинковых рудах – 17,5, в других – 0,5%.

Наивысшие содержания галлия наблюдаются в редкометально-полиметаллических месторождениях с минералами германия и галлия. Однако подобные руды известны только на двух месторождениях: Цумеб и Кипуши (Африка), где галлий присутствует в виде собственных минералов – галлита, корневалита, майгрюна, зенгеита. На месторождениях Цумеб и Кипуши галлий в существенных количествах входит в кристаллические решетки германита (0,74 – 1,5%), реньерита (0,52%), бриартита (до 2,2%) и др.

Ресурсы галлия в бокситах Европы, ЮАР, Северной америки и Австралии, подсчитанные для единичных месторождений составили десятки тысяч тонн.

Годовое производство галлия в зарубежных странах превышает 50 тонн.

Индий (In) был открыт в 1863 году немецкими учеными Ф. Райх и Т. Рихтером по характерному цвету «индиго» спектральной линии.

Металлический индий – красивый блестящий металл серебристо-белого цвета, он мягок, намного мягче свинца, малопрочен и легкоплавок – температура плавления 156,2 °С. Индий стоек к действию воздуха и воды, при нагревании соединяется с кислородом, образуя оксид (In_2O_3) желтого цвета. При обычной температуре реагирует с хлором и бромом.

Кларк индия в земной коре 0,14 г/т. Это рассеянный элемент. Известно лишь пять сульфидов индия, которые не имеют самостоятельной промышленной ценности, скопления его минералов неизвестны.

Наиболее широко индий используется в электронике и электротехнике, при производстве подшипниковых сплавов, припоев. Новые перспективы перед индием открываются в связи с его использованием в солнечных батареях, в волоконной оптике, микроаккумуляторах и в качестве добавки к

смазочным материалам особого назначения. Индий и его сплавы с серебром используют для покрытия зеркал в особо точных приборах и рефлекторах, так как коэффициент отражения таких зеркал не меняется со временем. При добавке индия к сплавам меди растет их стойкость к действию морской воды. Соединения индия с сурьмой, мышьяком, фосфором применяют в полупроводниковой технике.

Собственных месторождений у индия нет. Он добывается попутно из руд Zn, Pb, Cu и Sn. В мировом производстве до 80% индия приходится на свинцово-цинковые месторождения, в которых заключены и основные его запасы (70 – 75%). Наиболее обогащены индием цинковые концентраты (2-800 г/т), меньше медные (0,5 – 100 г/т), оловянные 910 – 124 г/т и свинцовые (1 – 10 г/т).

Мировые учтенные запасы индия определены в 2100 тонн. Годовое производство индия в мире – всего несколько десятков тонн.

Таллий (Tl) открыт в 1861 году англичанином У. Круксом. Это серебристо-белый металл, больше всего похож на свинец, а по химическим свойствам сходен с щелочными металлами I группы Периодической таблицы. Вступая в химические реакции, халькофильный элемент - таллий проявляет чаще одновалентность.

Одновалентный таллий проявляет и оксифильные свойства, что определяет его сходство с калием и другими щелочными металлами. Гидроксид таллия $TlOH$, подобно соединениям кали и натрия, хорошо растворяется в воде и проявляет свойства сильного основания. Таллий растворим в кислотах и нерастворим в щелочах.

Таллий и его соединения ядовиты, что вообще характерно для тяжелых металлов.

Кларк таллия в земной коре (0,45 г/т) больше чем золота, серебра или ртути. Хотя у таллия выявлено 30 минералов, все они крайне редки и соб-

ственных месторождений не образуют. Таллий – типичный рассеянный элемент. Основные минералы-носители таллия: сфалерит, марказит, галенит, средние содержания таллия в которых по месторождениям составляют десятки и первые сотни г/т.

Главная область применения таллия – производство ядохимикатов - инсектицидов для уничтожения грызунов и насекомых. Традиционным считается также использование таллия в электронике и оптике. Высокая токсичность таллия – серьезное препятствие расширению его применению.

Таллий добывается в основном при переработке сульфидных свинцовых и цинковых руд, а также из пиритных продуктов и мышьяковых руд. Наибольшей продуктивностью на таллий характеризуются колчеданно-полиметаллические руды, стратиформные свинцово-цинковые, вулканогенно-гидротермальные золото-серебряные руды. Повышенное содержание таллия обнаружено в железо-марганцевых конкрециях Мирового океана

Разведанные запасы таллия в цинковых и свинцовых рудах зарубежных стран составляют 812 тысяч тонн. Потребление таллия в США около одной тонны. Высокая токсичность таллия - серьезное препятствие расширения его использования.

Германий (Ge) был предсказан Д.Менделеевым в 1871 году, а в 1886 году был открыт немецким ученым К.Винклером.

Чистый германий твердое вещество серо-белого цвета с металлическим блеском. При комнатной температуре он устойчив к действию воздуха, воды, соляной и серной кислот. Лишь при нагревании взаимодействует с азотной и концентрированной серной кислотой. Будучи аналогом кремния и углерода, германий в некоторых соединениях образует цепи, содержащие несколько последовательно соединенных атомов элемента. Примером таких соединений являются гидриды германия - известны все насыщенные гидриды вплоть до Ge_8H_{18} . Известны и германийорганические соединения.

В течение долгого времени германий не имел практического применения. "Звездный час" германия наступил в середине XX века, когда были установлены его уникальные полупроводниковые свойства. Впервые германий начал применяться в электронике, и эта область применения являлась главной до недавнего времени. В настоящее время он широко используется также в вычислительной технике и волоконной оптике.

Кларк германия 1,42 г/т. В разных магматических породах его содержание остается примерно на одном уровне. Германий обладает оксифильными, сидерофильными, халькофильными и органофильными свойствами. В разных геологических процессах преобладают те или иные свойства германия.

В природе известно 20 минералов германия, из которых 8 сульфидных и 12 кислородных соединений (в зоне окисления). Собственные месторождения образуют германит $\text{Cu}(\text{Fe}_{0,5}(\text{Fe}_{0,5}\text{Ge}_{0,5})(\text{Ge}_{2,7} - 10,6\%))$ и реньерит $\text{Cu}(\text{Fe},\text{Ge})\text{S}_4$ ($\text{Ge}_{5,9} - 8,7\%$).

Практический интерес для попутного извлечения представляют следующие концентрации германия (в г/т): энергетические угли – $n \cdot 10$, коксующие – n , углистые породы – $n \cdot 100$, оксидные железные руды – 10. Самостоятельное извлечение германия из сульфидных руд при существующих технологиях целесообразно при содержании германия не менее 150 г/т.

Среди месторождений германия выделяются две группы: собственные германий-сульфидные и германий-сульфосольные месторождения, где германий составляет главную промышленную ценность руд и германий содержащие комплексные руды цветных металлов, коксующиеся и энергетические руды, в которых германий является попутным компонентом.

Собственно германиевые месторождения. К этому типу относятся гидротермальные месторождения Цумеб (Намибия) и Кипуши (Заир). Несколько десятков лет они являются основными поставщиками германия на

мировом рынке. Месторождения приурочены к верхнепротерозойским осадочным породам. Руды содержат Ge, Zn, Cu, Pb, Cd, Ga и другие металлы. Формы рудных тел - трубообразные крутопадающие залежи. Руды сплошные, брекчиевые, прожилковые. Хорошо развита зона окисления и вторичного сульфидного обогащения. Германий представлен германитом и реньеритом. Содержание германиевых минералов до нескольких десятков процентов. Запасы германия исчисляются тысячами тонн.

Среди месторождений олово-серебряной формации (Боливия) находится месторождение Колькечака, которое характеризуется повышенным содержанием германия. Месторождение относится к вулканогенно-гидротермальному типу, близповерхностное, жильное. Оно отличается очень сложным составом руд, в частности широким распространением сульфосолей серебра, касситерита, аргиродита и канфилдита, развитием колломорфных текстур.

Германийсодержащие месторождения представлены несколькими формациями: медно-колчеданными, колчеданно-полиметаллическими, сульфидно-касситеритовыми, прожилково-вкрапленными медно-порфировыми.

Наиболее широко распространены германий содержащие стратиформные свинцово-цинковые месторождения. Высокие концентрации отмечаются обычно в сфалерите (в среднем 190 г/т). Подобные крупнейшие месторождения известны в США (месторождения бассейна р. Миссури), России (Сардана). Содержания германия достигают 400-1950 г/т.

Германий отмечается в железистых кварцитах докембрия России и Украины (среднее содержание 6 г/т). В магнетитовых кварцитах Кременчугского района содержания германия изменяются от 9 до 50, в среднем 29 г/т. Главный минерал-носитель германия – магнетит.

Германийсодержащие угольные месторождения. Установлено, что повышенные содержания германия приурочены к таким угольным пластам, которые подстилаются и перекрываются хорошо водопроницаемыми породами (песчаниками или алевролитами). Повышенные концентрации германия наблюдаются в почве и кровле пласта, содержания в этих частях пласта возрастают в 50-70 раз. Мощность обогащенных зон составляет 10-15 см.

Германий в углях находится главным образом в сорбированном состоянии. Примерами германий содержащих углей являются угли Канады, Японии, России (угли Сахалина).

С 1946 года мировое потребление германия увеличилось почти в 1000 раз и в 1995 году составило 80 т. Основные производители – Заир, США, Намибия, Канада, Бельгия, Франция и Япония.

Селен (Se) открыт в 1817 году шведским химиком Й.Берцелиусом (селен по латыни "Луна").

Селен - серое кристаллическое вещество. По многим физико-химическим свойствам селен сходен с серой и теллуром. Сгорая, он превращается в оксид SeO_2 , который при взаимодействии с водой образует селенистую кислоту H_2SeO_4 - аналог серной кислоты. Серый селен обладает полупроводниковыми свойствами, причем под действием света электропроводность селена сильно возрастает. В больших дозах селен и его соединения ядовиты.

Использование селена и его соединений стало традиционным в электротехнике (выпрямители тока), электронике (пьезооптические, акустооптические и другие полупроводниковые устройства), ксерокопировании, стеклоделии, вулканизации резины, лакокрасочной промышленности, черной металлургии, аккумуляторных батареях и твердых слоистых смазках. Селенид натрия применяется в микродозах при лечении животных. Селен используют в фотоэлементах и фотоэкспонетрах.

У селена установлено 80 собственных минералов. Однако ни один из его минералов не образует собственные месторождения.

Производство и основные активные запасы селена приходятся главным образом на промышленные типы медных, свинцово-цинковых и никелевых месторождений. Важнейшим мировым источником селена являются меднопорфировые месторождения, на которые приходится более 70% извлекаемых с медью активных запасов селена зарубежных стран. Содержания селена в рудах медно-цинково-колчеданных и серноколчеданных месторождений самые высокие среди сульфидных месторождений.

Селен часто встречается в экзогенных урановых месторождениях. Высокие содержания селена отмечены также в фосфоритах формации Фосфория (США).

Запасы селена на начало 1994 составляли 130 тысяч тонн в развитых странах зарубежья. Производство селена в развитых зарубежных странах в 1992 году составило 2000 т.

Теллур (Te) обнаружен в 1782 году в золотых рудах венгерскими химиками. Это самый тяжелый (атомная масса 127,6) и малораспространенный элемент.

Внешне теллур серебристо-белый, похож на сурьму. По химическим свойствам он близок к сере и селену. Как и большинство тяжелых металлов теллур токсичен, еще более ядовиты его соединения, особенно гидрид теллура.

Используется как легирующая добавка к чугунам, стали и меди, способствующая улучшению их обрабатываемости; как один из эффективных полупроводников, в частности для лазеров; используется в инфракрасных приборах, специальных стеклах, фототехнике, термоэлектрических материалах, в солнечных элементах.

Кларк теллура 1,0 мг/т., его извлекают только попутно при переработке сульфидных медных, отчасти свинцовых руд, а также вулканогенно-гидротермальных золото-серебро-теллуридов руд.

По запасам и добыче теллура на первом месте стоят медные месторождения, из которых производится больше половины получаемого в мире теллура.

Минералы теллура в медно-никелевых рудах: гессит, алтаит, силванит, калаверит и др. Значительное количество теллура содержат золото-теллуридные месторождения. В близповерхностных месторождениях преимущественно распространены теллуриды золота и серебра, а в месторождениях умеренных глубин – теллуриды висмута.

В заключение краткого обзора рассеянных халькофильных металлов, извлекаемых преимущественно из сульфидных руд, рассмотрим свойства и промышленные типы сидерофильного рассеянного металла скандия.

Скандий (Sc) предсказан Д.И. Менделеевым под названием «экабор», позже ,в 1879 году, открыт шведским химиком Л.Нильсоном, который назвал новый элемент скандием в честь Скандинавии.

Чистый металлический скандий удалось получить лишь в 1937 году; это легкий металл с характерным желтым отливом, который появляется при контакте металла с воздухом. Скандий обладает уникальным сочетанием свойств: низкой плотностью ($3,0 \text{ г/см}^3$), почти равной алюминию, и высокой температурой плавления, в два с половиной раза превышающей температуру плавления алюминия. По химическим свойствам скандий близок к иттрию и лантаноидам, железу и магнию.

Кларк скандия в земной коре примерно 22 г/т, наиболее высокое среднее содержание в основных породах – 37 г/т, низкое – в щелочных - 4,8 г/т и в осадочных – 8,2 г/т, в метаморфических породах среднее содержание

20,1 г/т. Скандий почти всегда содержится в минералах, содержащих редко-земельные элементы.

Основная форма нахождения скандия в природе – рассеяние его в породообразующих минералах железа и магния. Собственные минералы скандия очень редки. В гранитных пегматитах встречен силикат скандия - тортвейтит ($\text{Sc}(\text{Si}_2\text{O}_7)$).

Скандий - элемент будущего, пока он используется ограниченно для изготовления полупроводников, катализаторов. Добавки карбида скандия в карбид титана повышают его твердость до сопоставимой с алмазом. Сплавы с добавлением скандия обладают высокой прочностью. Скандий используется при изготовлении высокотемпературной керамики, ЭВМ, лазерных приставок. Оксид скандия используют в изготовлении ферритов, люминофоров, в производстве стекла и керамики. Большие перспективы использования скандия в качестве конструкционного материала летательных аппаратов.

Скандий добывается попутно при переработке урановых и титановых руд, в меньшей степени вольфрамит, танталит-колумбита и ряда других минералов. Эти источники попутной добычи снабжают промышленность скандием уже на протяжении нескольких десятков лет. В последние годы изучено несколько типов собственных месторождений скандия, но серьезное внимание приобретают лишь скандиеносные метасоматиты и их коры выветривания. К числу собственных месторождений относятся и гранитные пегматиты с тортвейтитом.

Пегматитовые месторождения известны в Карелии, Горном Алтае, в Казахстане, Норвегии, на Мадагаскаре. Главные породообразующие минералы пегматитовых жил – кварц, олигоклаз, микроклин, биотит, иногда присутствует низкотемпературный альбит (клевеландит). В составе акцессорных минералов присутствуют тортвейтит, циркон, гадолинит, самарскит,

монацит, ксенотим, уранинит, торит и др. Тортвейтит содержит до 50% Sc_2O_3 , образует призматические, часто конусовидные кристаллы размером 10x2 см, иногда до 35x4 см. В Норвегии разведано пегматитовое месторождение с запасами скандия более 3 т.

Альбититовый генетический тип. В горном Алтае выявлено месторождение Кумир, приуроченное к юго-западной части штокообразного тела кварцевых порфиров размером в плане 3x1,5 км. Оруденение локализовано в останце кровли вмещающих пород в непосредственном контакте с кварцевыми порфирами интенсивно альбитизированных с флюоритом, турмалином и биотитом. В приконтактной зоне проявлены также процессы скарнирования и ороговикования.

Ведущая рудная формация – скандиево-редкоземельная. В ее составе присутствуют уранинит, тортвейтит, гадолинит, флюорит и др. Содержание скандия изменчиво от нескольких до 2400 г/т. Рудными являются интервалы с содержанием скандия более 50 г/т. Подземными горными выработками и скважинами рудная зона прослежена на 600 м в длину при ширине 150 м и по падению на 250 м. Содержание тортвейтита в биотитовом слюдите с флюоритом, пиритом и карбонатом достигает 1% в виде призматических кристаллов до 1 мм длиной, радиально-лучистых срастаний и неправильной формы зерен. Среднее содержание скандия не менее 200 г/т, запасы – сотни тонн, а по всему рудному району ресурсы составляют тысячи тонн.

Метасоматические руды генетического класса линейных альбититов выявлены в конце XX века в пределах Желтоводского месторождения урана (Украина). В боковых породах отработанной урановой залежи было выявлено интенсивное развитие комплексных руд скандия, ванадия, лантаноидов иттриевой группы, циркония и гафния. Руды имеют нижнепротерозойский возраст, залегают среди железистых кварцитов криворожской серии.

Выделяются два типа руд:

1) ванадий-скандиевые и 2) скандий-цирконий-редкоземельные. Мощность рудных тел первого типа 7-10 м, длина по простиранию от 25 до 415 м; мощность руд второго типа от долей метра до 5-6 м (иногда до 10 м), длина по простиранию – от 30 до 350 м. По падению рудные залежи обоих типов имеют протяженность от 40 до 380 м. Содержание металлов в рудных существенно карбонатных метасоматитах достигает (г/т): Sc – 720 , V – 5400 , Zr – 12000 , Hf – 300 г/т.

Мировые запасы скандия превышают 1млн т. Объемы производства очень невелики, в последнее время составляют несколько тонн. Потребление составляет также единицы тонн.

3.4. Месторождения редкоземельных элементов

К группе лантаноидов (редких земель) относится 15 химически сходных элементов от лантана (57) до лютеция (71). Эти элементы имеют одинаковую валентность, близкие размеры ионных радиусов и поэтому близкие химические свойства, чем обусловлено их совместное нахождение в природе. Здесь одновременно рассматривается и иттрий, не являющийся редкоземельным элементом, но имеющий сходные свойства и часто совместно находящийся в редкоземельных месторождениях.

Начало открытия редких земель относится к 1794 году, когда финский химик Гадолин открыл новый элемент в минерале из Иттербии (Швеция). К 1907 году уже было открыто 14 лантаноидов и иттрий. Последний прометий был открыт в 1947 году американскими исследователями при делении урана.

Радиусы ионов и атомов редкоземельных элементов (РЗЭ) закономерно уменьшаются от лантана к лютецию, поэтому группа редкоземельных элементов подразделяется на две подгруппы – иттриевую и цериевую. Все

лантаноиды трехвалентны. Они обладают высокой химической активностью и взаимодействуют со всеми элементами при сравнительно низких температурах, растворяются в кислотах, щелочи на них не действуют.

Известно более 100 важных областей применения РЗЭ. Традиционные и наиболее емкие сферы использования: катализ в крекинге нефти, металлургическая, стекольная и керамическая отрасли промышленности. В металлургии редкие земли применяются для легирования сталей. Кроме придания ценных свойств они очищают сталь от серы и газов, благоприятно влияют на обрабатываемость и текучесть сталей. Широкое распространение получили сплавы РЗЭ с алюминием и магнием – легкие, прочные, жаропрочные в реактивной и авиационной технике.

В стеклоделии и керамике редкие земли применяются для окрашивания стекла, для обесцвечивания стекла, для изготовления эмалей и глазурей, в качестве полирующих материалов при обработке стекла.

Соединения редкоземельных элементов используются в качестве катализаторов, активаторов, люминофоров, добавки к лакам и краскам, а также добавок к углям накаливания, применяемых в военных прожекторах, маяках, киносьемочных и кинопроекторных аппаратах.

В ядерных реакторах используются цериевые стекла, не темнеющие под действием радиаций, стержни регулирования с европием и самарием. Радиоактивный изотоп тулия, обладающий мягким гамма излучением, используется в портативных рентгенопросвечивающих приборах в дефектоскопии металлических изделий.

Зданы лазеры из неодимового стекла, в лазерах используются также празеодим, гольмий, тулий, эрбий, иттербий, самарий, европий, гадолиний. Оксиды европия и иттрия применяются при изготовлении ламп для цветного телевидения.

Суммарный кларк редкоземельных элементов – 0,01%. Содержания редких земель увеличиваются от ультраосновных к кислым породам. Повышенные содержания отмечаются также в щелочных породах. Максимальные содержания наблюдаются в карбонатитах.

В экзогенных условиях многие минералы редкоземельных элементов устойчивы и могут накапливаться в коре выветривания и в россыпях (монацит, ксенотим, ортит, бастнезит и др.), а многие неустойчивы и изменяются, переходя в водные карбонаты и фосфаты, частично растворяются и выносятся. В морских условиях редкие земли накапливаются в фосфоритах и костных остатках.

Все минералы редких земель содержат в своем составе все редкоземельные элементы, но характеризуются преобладанием одного или двух редкоземельных элементов.

Наиболее важными промышленными минералами редких земель являются бастнезит CeCO_3F , паризит $\text{CaCe}_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$, монацит CePO_4 , ксенотим YPO_4 , лопарит $\text{NaCeTi}_2\text{O}_6$, редкоземельный эвдиалит.

Из несобственных минералов самыми высокими концентрациями редких земель обладают перовскит, флюорит, апатит, эпидот, циркон.

Мировые запасы оксидов редкоземельных элементов на начало XXI века составляли 100 млн. т, в том числе в КНР – 41%, в России – 18%, США – 12%, Австралии – 5,2%, Индии – 1,1%.

Основная часть запасов зарубежных редкоземельных месторождений заключена в бастнезите (90%) и монаците россыпей (9%). Два крупнейших разрабатываемых карбонатитовых месторождения – Баюнь-Обо (КНР) и Маунтин-Пасс (США) заключают главную массу запасов TR и являются основным источником их добычи. Наиболее крупные россыпные месторождения с монацитом известны в Индии и Австралии.

Ежегодная добыча редких земель в пересчете на триоксиды составляет 80 тыс.т. Основные производители: Китай, США, Австралия, до недавнего времени Россия.

Россия обладает значительными запасами РЗЭ, однако руды большинства месторождений относятся к низкокачественным. Основное значение имеют месторождения в лопаритоносных массивах (Ловозерский), апатит-нефелиновых (Хибинский массив); месторождения в щелочно-гранитоидных комплексах (Улуг-Танзекское, Катугинское и др.). Редкие земли извлекаются из двух типов руд: монацитовых и бастнезитовых. В небольших количествах добывается ксенотим.

Промышленное значение имеют как эндогенные так и экзогенные месторождения:

Магматические месторождения. Редкометальные щелочные граниты известны в Нигерии, Египте, России (Катугинское, Улуг-Танзекское), Саудовской Аравии.

Массивы редкометальных щелочных гранитов всегда обладают изометричной в плане формой – это часто овальные или округлые тела площадью до 1 км.², иногда больше. На глубину они уходят нередко вертикально. Возраст от среднего протерозоя до мезозоя

Щелочные редкометальные граниты содержат высококомплексные руды редких элементов. В них наряду с иттрием и иттриевыми лантаноидами промышленный интерес представляют Ta, Nb, Zr, Hf, иногда Li, Rb, Cs, U, Th. По запасам редких металлов это очень крупные, а по танталу уникальные месторождения. На их долю приходится главная часть мировых запасов иттрия и иттриевых лантаноидов, третья часть запасов циркония, существенные ресурсы ниобия, цериевых лантаноидов, лития, рубидия и радиоактивных элементов. В будущем месторождения этой формации могут составить основу мировой редкометальной базы.

Месторождения, связанные с щелочными сиенитами. Примером является лопаритоносный Ловозерский массив уртитов-фойяитов-луявритов, а также апатит-нефелиновые породы Хибинского массива.

Скарновые месторождения. Месторождения образуются на контакте щелочных гранитов и вмещающих известняков. Примером могут служить скарновое месторождение Швеции - Бастнез. Актинолитовые и тремолит-актинолитовые скарны с андрадитом и сфеном развиваются по мраморам и доломитизированным известнякам архея. В скарнах присутствуют ортит, бастнезит. Запасы РЗЭ достигают миллионов тонн, содержания металлов в среднем 1,5%.

Карбонатиты. К этому типу относятся знаменитые месторождения Маунтин-Пасс в США, Баюнь-Обо в КНР, Томтор, Карасуг в России .

Месторождения коры выветривания. Редкие земли накапливаются в корах выветривания карбонатитовых месторождений и щелочных пород как в виде первичных минералов (пироксор, бастнезит, монацит, паризит), так и в виде новообразований. Некоторое значение для их концентрации имеет способность сорбироваться гидрооксидами железа, марганца, глинистыми минералами.

Промышленные концентрации РЗЭ иттриевой и цериевой группы образуются в корах выветривания на карбонатитах месторождения Араша в Бразилии, Томтор в России и др.

Хемогенно - и органогенно-осадочные месторождения. Фосфориты всегда в той или иной степени обогащены редкими землями, стронцием и радиоактивными элементами, изоморфно замещающими кальций. Максимальные концентрации редких земель (0,2-0,3%) наблюдаются во флотационных концентратах месторождений ракушечных фосфоритов. Содержание невелико, но редкие земли, стронций и другие элементы будут получаться попутно при производстве фосфорных удобрений.

Глава 4. Генетические типы месторождений благородных металлов

4.1. Месторождения золота и серебра

Золото

Золото было известно человеку за 6 тысяч лет до новой эры. С глубокой древности золото применяется для изготовления ювелирных изделий и чеканки монет.

В России золотодобывающая промышленность начала развиваться после открытия коренного месторождения в Карелии (Воицкий рудник, 1732 г.) и на Урале (Березовский рудник, 1742 г.).

Современные области применения золота разнообразны. Подавляющая часть добываемого золота хранится в виде слитков в национальных банках государств и служит обеспечением и валютой при международных платежах и расчетах. Широкой областью применения золота является промышленность: золочение металлов, сварка в особо ответственных деталях ракет, изготовление химически стойкой аппаратуры, радиоэлектроника, электронная микроскопия. Традиционно золото применяется в ювелирном деле и в медицине.

Кларк Au 0,00000045% (4,5 мг/т). Главный минерал золоторудных месторождений - самородное золото, которое может быть и тонкодисперсным и представлено крупными самородками. Наиболее крупный самородок, найденный в России, Большой Треугольник массой 36,22 кг. Одним из наиболее крупных самородков является Плита Холтермана (Австралия) массой 285 кг. Другие минералы: электрум AuAg, аурикуприд AuCu_3 , ауристибнит AuSb_2 , теллуриды – калаверит AuTe_2 , сильванит $(\text{Au}, \text{Ag})\text{Te}_4$ и другие.

Промышленными считают коренные месторождения с содержанием Au 1-5 г/т и более и россыпи с минимальным содержанием 0,1 г/м³. Качество золота определяется его пробностью – содержанием Au в 1000 единицах по массе. Пробность золота возрастает от низкотемпературных к высокотемпературным месторождениям. В золоте содержится свыше 40 элементов-примесей, в том числе Ag, платиноиды, Cu, Fe, Pb, Bi, Sb и другие.

Месторождения золота установлены в 117 странах мира. Наиболее богаты золотом ЮАР, США, Австралия, Канада, Россия. В 2005 году в мире произведено 2460 т. Главные производители – ЮАР, США, Австралия, Канада, Китай, Узбекистан, Бразилия, Россия.

Главными золоторудными провинциями России являются Восточная Сибирь – районы Енисейский, Приленский, Восточно-Забайкальский; Якутия – районы Верхоянский, Алданский; Приамурье, Приморье. Наиболее известные месторождения - Олимпиаденское, Бaleyское, Карамкен, Кубака, Многовершинное, Хаканджа, Качкарское, Дарасун, Сухой Лог, Зун-Холбинское.

Генетические типы промышленных месторождений

Наиболее важное промышленное значение имеют: плутоногенные гидротермальные, метаморфогенные, вулканогенно-гидротермальные, скарновые, месторождения выветривания и россыпные. Примерно 11,4% Au добывают попутно из комплексных, главным образом, медно-порфировых, в меньшей мере медно-колчеданных месторождений.

Плутоногенно - гидротермальные месторождения широко распространены. Они встречаются практически во всех золотоносных провинциях России и за рубежом. Наиболее крупные месторождения находятся на Северо-Востоке, в Якутии, Забайкалье, Восточных Саянах, на Урале. Известными зарубежными месторождениями являются Колар (Индия), Крипл-Крик (США), Бендиго (Австралия).

Месторождения генетически связаны с малыми интрузиями кисло-среднего состава. Они формируются на завершающих стадиях развития складчатых поясов или на этапах тектоно-магматической активизации древних тектонических зон земной коры.

По составу руд выделяются: золото-кварцевая, золото-сульфидная и золото-кварц-сульфидная рудные формации.

Месторождения золото-кварцевой формации (например, Качкарское на Урале) представляют собой штокверк, в составе которого залежи круто- и пологопадающие, кварцево- жильные и прожилковые зоны. Зоны характеризуются высоким содержанием золота. Золото мелкое, иногда тонкодисперсное. Рудная минерализация представлена пиритом и арсенопиритом, встречаются сфалерит, галенит, висмутин. Нерудные минералы – кварц с небольшим количеством калиевого полевого шпата, альбита, турмалина, биотита.

Месторождения золото-кварц-сульфидной формации (месторождения – Дарасун, Березовское, Колар (Индия) генетически связаны с умеренно кислыми породами, часто приурочены к дайкам. Форма рудных тел – жильная, иногда система лестничных жил, например, Березовское месторождение (рис. 4.1.).

Самородное золото (пробность – 800-900) ассоциирует с пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом, блеклыми рудами. Среднее содержание Au – 10-20 г/т. Околорудные изменения – березитизация, лиственизация, хлоритизация, окварцевание, серицитизация.

Березовское золоторудное месторождение разрабатывается с 1742года, расположено в Восточно-Уральском антиклинории, сложенном вулканогенными породами палеозойского возраста. С востока и запада Березовское рудное поле ограничено глубинными разломами субмеридионального простирания, которые контролировали положение интрузий гер-

цинских гранитоидов и более древних пород габбро-перидотитовой формации.

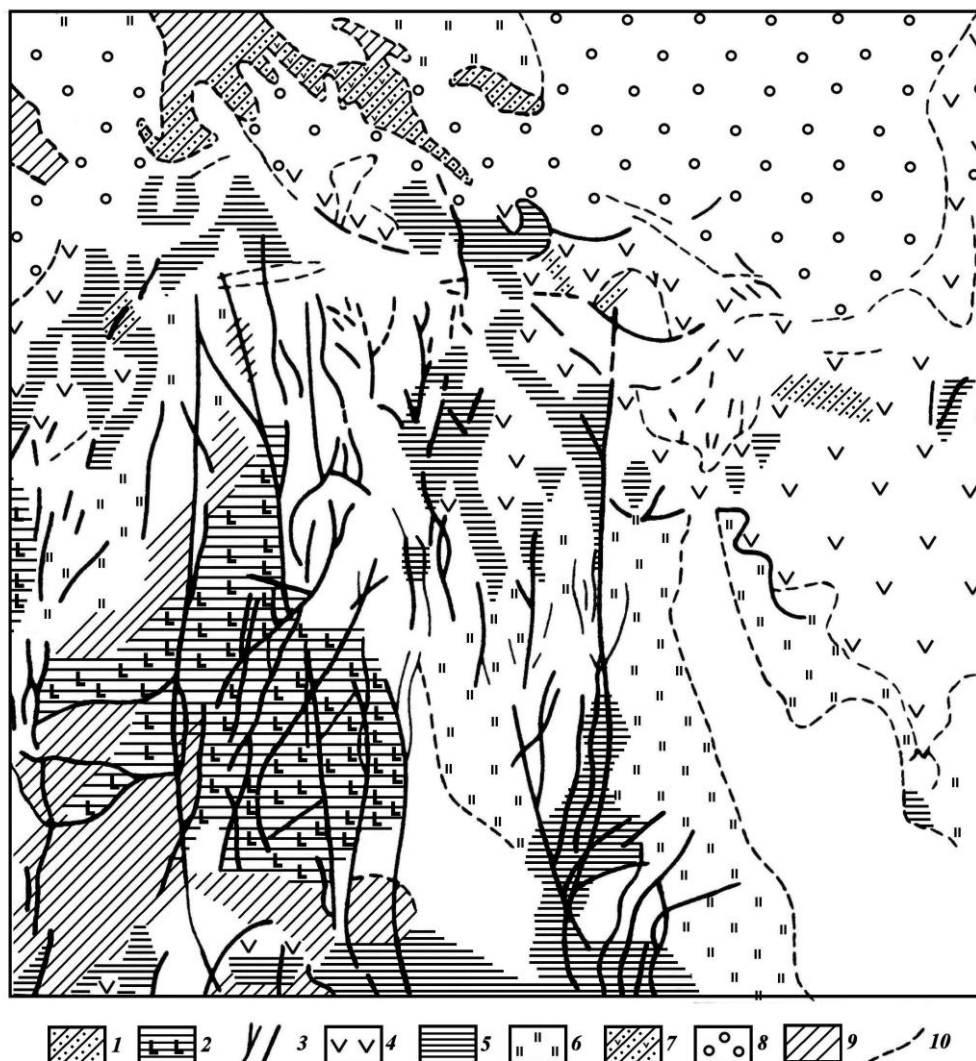


Рис. 4.1. Схематическая геологическая карта района Березовского месторождения по Н.И. Бородаевскому.

1 – диоритовые амфиболиты; 2 – эпидот-хлоритовые и кварц-хлоритовые сланцы; 3 – березитизированные гранит-порфиры; 4 – серпениниты; 5 – тальковые сланцы; 6 – альбитовые сланцы; 7 – листвениты; 8 – габбро; 9 – кварц-серицитовые сланцы; 10 – границы распределения россыпей.

В пределах рудного поля наиболее развиты породы березовской (нижний карбон) и адуйской (верхи девона) свит. Березовская свита представляет собой переслаивание кремнисто-глинистых и кремнисто-углистых

сланцев, филлитов, туфопесчаников, туффитов, туфобрекчий; адуйская – диабазы, порфириты, их туфы и туфолавы.

Отличительная особенность Березовского месторождения - наличие многочисленных гранитоидных даек, прорезающих породы района преимущественно в субмеридиональном направлении. К дайкам приурочена главная масса золоторудных жил. Среди них преобладают широтные крутопадающие, почти перпендикулярные контактам меридиональных даек гранитоидов, получившие название «лестничных» жил (рис. 4.2.). Протяженность жил 200 – 300 м, иногда до 1 км. Протяженность лестничных жил определяется мощностью даек, за пределы которых они не выходят.

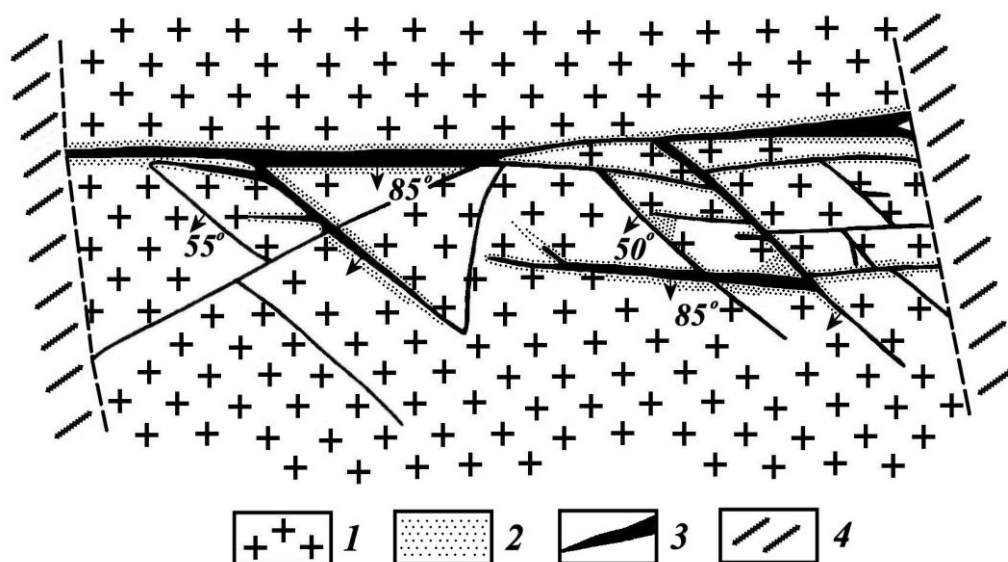


Рис. 4.2. Строение системы лестничных жил на Березовском месторождении. По М. Бородаевской и Н. Бородаевскому.

1 – плагиогранит-порфиры; 2 – ореолы березитов; 3 – лестничные жилы; 4 – вмещающие породы.

Рудные минералы присутствуют в количествах от 2 до 10%, представлены главным образом пиритом, шеелитом, блеклыми рудами (тетраэдри- том, айкинитом), галенитом и халькопиритом. Золото мелкое пылевидное, часть его приурочена к ранним сульфидам, максимальное же количество связано с выделением поздней тетраэдрит-галенит-айкинитовой ассоциа-

ции. Пробность золота от 800 до 930. В целом значительно обогащены золотом места сгущения широтных лестничных жил. Главный жильный минерал – кварц нескольких генераций, присутствуют анкерит, кальцит, доломит и др.

Наиболее характерные околорудные изменения – лиственитизация гипербазитов и осадочно-вулканогенных пород и березитизация жильных гранитоидов. Листвениты и березиты образуют ореолы мощностью от 0,1-0,4 до 1-1,5 м. Сульфидоносные березиты обычно золотоносны и отрабатываются вместе с жилами.

Золото-кварцевая формация, по Авдониу и др. (2005), характеризуется низким содержанием сульфидов (0,5 - 1,5%) в существенно кварцевой жильной минерализации. Золото образует мелкие, частично дисперсные выделения в кварце или в катаклазированных участках сульфидов и встречается в виде коротких прожилков. В качестве примера приводится месторождение Мурунтау (Узбекистан), расположенное в верхней части разреза осадочно-метаморфических пород позднепротерозойского - раннепалеозойского возраста. В связи с этим, генезис месторождения Мурунтау рассматривается с позиций метаморфогенного механизма формирования промышленных концентраций золота, приуроченного к углеродистым филлитовидным сланцам (Синюков, 1983).

Вулканогенно-гидротермальные месторождения связаны с вулканами дацит-андезит-риолитового ряда. В них, как правило, содержание золота уступает содержанию серебра, поэтому характеристика вулканогенно-гидротермальных месторождений приводится ниже в разделе «серебро».

Метаморфогенные месторождения

Месторождения, связанные с процессами метаморфизма по Авдониу и др. (2005) разделяются на два типа: флюидно-метаморфогенный и осадочно-метаморфизованный.

Флюидно-метаморфогенные месторождения являются одними из важных запасов золота и имеют широкое распространение. К ним относятся месторождения США (Хоумстейк), Бразилии, Австралии, в России – Сухой Лог, Советское, Зун-Холбинское (Вост. Сибирь).

Генезис этих месторождений является сложным и дискуссионным. С одной стороны, они приурочены к метаморфическим толщам и тесно с ними связаны. С другой стороны, всеми исследователями отмечается наложенный характер золоторудной минерализации, контроль оруденения разломами, проявление окolorудных изменений, что характерно для гидротермальных месторождений. Эти данные заставляют сделать вывод о длительном процессе рудообразования, который включает и накопление золота в стадию формирования вмещающих пород и при их метаморфизме, и концентрацию золота в виде рудных тел в связи с деятельностью глубинных флюидных систем.

Основные особенности таких месторождений – приуроченность к зонам метаморфизма в зеленокаменных поясах или древних прогибах; залегание среди метаморфических песчано-сланцевых зеленокаменных или черносланцевых толщ в виде согласных или согласно секущих тел, контролируемых зонами рассланцевания и элементами складчатых структур (замковые части складок, мульды, флексуры и т.д.), приуроченность к толщам, обогащенным органическим веществом.

Наибольшим распространением пользуются формации: золото-малосульфидные в черносланцевых толщах (Сухой Лог, месторождения Аллах-Юньского района в Якутии) и золото-кварц-сульфидные в зеленосланцевых толщах (Зун-Холбинское месторождение в Бурятии).

Месторождение Сухой Лог (рудная формация золото-кварц-малосу-

льфидная, класс регионально метаморфизованных полезных ископаемых) находится в Восточной Сибири (Байкало-Патомская горная область) в пределах Ленского золотоносного района.

Бодайбинский синклиний, вмещающий коренные месторождения золота и россыпи, сложен метаморфизованными отложениями патомской серии позднего протерозоя. Преобладают метапесчаники кварцевые и полимиктовые, черные углистые сланцы, известковистые песчаники, доломиты, кварциты. Месторождение Сухой Лог находится в осевой части антиклинальной складки третьего порядка (по отношению к Бодайбинскому синклинию) сжатой и опрокинутой на юг (рис. 4.3.). Ядро складки сложено углистыми, кварц-серицитовыми сланцами и метаалевролитами, крылья – известняками, метапесчаниками, известковыми сланцами. Региональный метаморфизм пород в условиях фации зеленых сланцев.

Оруденение локализовано в близширотной зоне позднескладчатого рассланцевания, которая вытянута на 15 км. Мощность зоны изменчива - от 20 до 250 м. Главное рудное тело представляет собой пластообразную залежь прожилково-вкрапленных руд длиной несколько км, мощностью от 15 до 140 м (средняя мощность 70 м). По падению рудное тело прослежено на 1500м. Оно имеет раздувы и пережимы, а распределение золота в нем носит столбовой характер. Рудные столбы имеют неправильную форму, вытянутую вдоль секущих разрывов. Литологический контроль оруденения выражен в приуроченности прожилково-вкрапленных руд к горизонтам пород с повышенным содержанием углеродистого вещества и сульфидов осадочного и метаморфического генезиса. Наблюдается слабое окварцевание, сульфидизация, карбонатизация в пределах рудной зоны.

Руды отличаются простым минеральным составом. Сульфиды представлены пиритом (90 – 95% всех сульфидов), кроме того, присутствуют халькопирит, пирротин, галенит, сфалерит, арсенопирит. Сульфиды соста-

ляют 1,3 – 2,5% общего состава. Золото мелкое, в среднем 0,1 – 0,14 мм. Кроме кварца и сульфидов в жильной массе присутствуют карбонаты, полевой шпат и слюды. Золотоносным является и пирит. Среднее содержание золота в рудах 2,5 г/т, золото высокопробное (890-950 и выше).

Помимо золота присутствуют самородная платина, твердые растворы системы Pt-Fe-Cu и теллуридов Pd и Ag, а также вольфрамит, шеелит, монацит, теллуриды Au и Ag, Bi и Ag, пирит (преобладает) и целый ряд сульфидов. Металлы платиновой группы представлены не только собственными платиновыми минералами, но и локализуются в серицит-графитовой массе, в битуминоидах, в теллуридах.

Среднее содержание Au 2,5 г/т, Pt от 0,91 до 1,17 г/т, Os – 1 г/т. Месторождение Сухой Лог относится к уникальным - запасы золота определены в 1450 т.

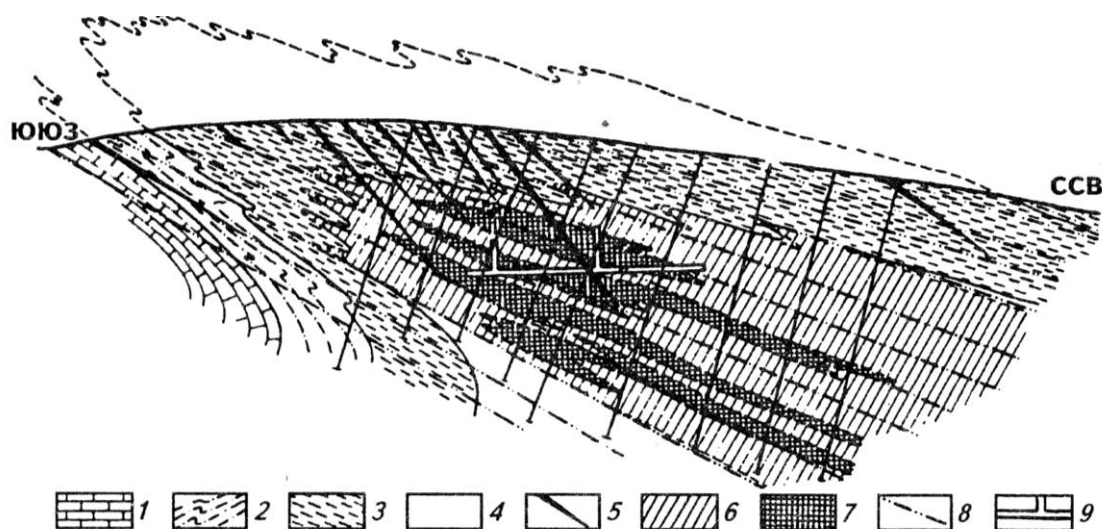


Рис. 4.3. Поперечный разрез зоны прожилково-вкрапленной золото-сульфидной минерализации, сопровождающейся золотоносными кварцевыми жилами месторождения Сухой Лог (по В.А. Буряку): 1 - известковистые алевролиты и алевросланцы; 2 - алевросланцы и алевролиты, преимущественно грубозернистые; 3 - "углистые" филлитовидные алевролиты; 4 - углистые кварцево-серицитовые алевросланцы; 5 - кварцевые жилы; 6, 7 -

ореол развития золото-сульфидной минерализации: 6- умеренной, 7 - повышенной; 8 - кливаж; 9 - подземные горные выработки.

Зун-Холбинское месторождение (Восточные Саяны) золото-кварц-сульфидной формации (рис. 4.4.) локализуется в вулканогенно-терригенных и карбонатных породах верхнего протерозоя: хлорит-серицитовых, углисто-серицит-хлоритовых сланцах и известняках. Рудные тела – полосчатые жилообразные залежи, согласные с крутопадающей толщей сланцев и карбонатных пород. Они расположены кулисообразно, прослеживаются на 100-700 метров при мощности до 3 метров.

Ведущими типами руд являются кварц-золото-платиноидно-сульфидный и золото-кварцевый в лиственитизированных и березитизированных окварцованных углеродисто-кремнистых сланцах, вулканитах и мраморах. В минеральном составе преобладают галенит, пирит, сфалерит, встречаются блеклые руды, халькопирит, золото, серебро, платина самородная, сперрилит (0,01-29,4 г/т). Золото встречается в виде мелкой вкрапленности в кварце, реже в сульфидах. Содержание его колеблется от 2 до 140 г/т. Максимальное содержание Pt (0,01-29,4 г/т) и Pd (до 4 г/т) выявлены в кварц-сульфидно-теллуридных рудах. В кварц-золото-сульфидных рудах до 2,21 г/т Pt и 0,68 г/т Pd.

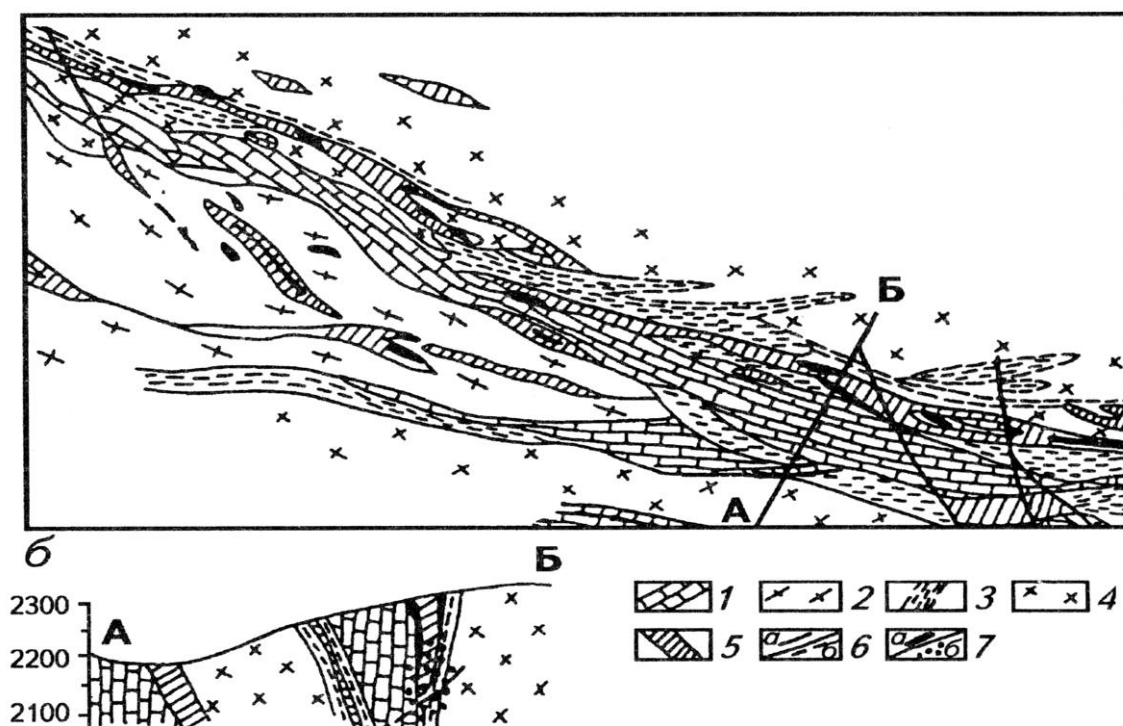


Рис. 4.4. Схематическая геологическая карта (а) и разрез (б) Зун-Холбинского месторождения (по П.Рощектоеву, Г.Шуляку и др.): 1 - известняки; 2 - гранитогнейсы, гнейсы; 3 - углистые сланцы, филлиты, милониты; 4 - плагиограниты, граниты, гранодиориты; 5 - зоны катаклаза и трещиноватости; 6 - достоверные (а) и предполагаемые (б) разломы; 7 - золотоносные кварц-сульфидные жилы (а) и вкрапленная рудная минерализация (б).

Осадочно-метаморфизованные месторождения. Месторождения этого промышленного типа являются главным источником золота и платиноидов во многих странах (ЮАР, Канада, Бразилия). Их уникальность определяется значительными размерами, комплексным составом руд, кроме золота и урана в них содержатся серебро и платиноиды (Ir, Ru, Os).

Месторождения приурочены к толщам метаморфизованных конгломератов протерозойского возраста. Это древние россыпи, преобразованные при последующих деформациях и метаморфизме зеленосланцевой фации с перегруппировкой первичных минералов. Форма рудных тел – пластовая и лентообразная. В плане структура рудных полей веерообразная.

Месторождение Витватерсранд (формация урано-золотоносных конгломератов, класс регионально метаморфизованных полезных ископаемых) расположено вблизи г. Йоганесбург в Южной Африке. Рудная минерализация проявлена на площади 350х200 км.

Месторождение уникальное по масштабам и запасам золота. Золотоносная толща Витватерсранд состоит из ритмичных серий конгломератов, песчаников, сланцев. Пачки рудоносных конгломератов образуют «риффы», содержащие золото и уран (рис. 4.5.). Рифы представляют собой группы сближенных горизонтов конгломератов мощностью от первых метров до первых десятков метров. Мощность рифов от 30 до 400 м, протяженность по простиранию до 70 км. Протяженность всей полосы около 200 км. Рудные тела вскрыты горными выработками до глубины 3600 м и скважинами на глубине 4600 м.

Конгломераты сложены на 80% окатанной галькой кварца или кварцита. Цемент имеет кварц-биотит-хлорит-эпидотовый состав, содержит углистое вещество и рудную минерализацию. В цементе содержится до 5-10% сульфидов. Установлено более 70 минералов, в том числе пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, молибденит и другие минералы. Уран представлен уранинитом, тухолитом, браннеритом, настураном. Содержание U_3O_8 около 0,03%, иногда выше. Золото содержится в сульфидах и в виде мелких обломков в цементе. Содержание золота 8-20 г/т, пробность 920-935. Встречаются самородное серебро, прустит, платиноиды с Os, Ir, Rh.

Происхождение месторождения полигенное — осадочно-метаморфогенно-гидротермальное. Большая часть исследователей считает, что конгломераты отлагались в конусах выноса рек. Переотложение урана и золота происходило многократно.

Из руд этого самого крупного в мире месторождения было извлечено 34600 т золота, 1500 т серебра, 1500 т платиноидов, 100 тысяч тонн урана. С 1979 по 1995 годы добыча золота составила 10725 т.

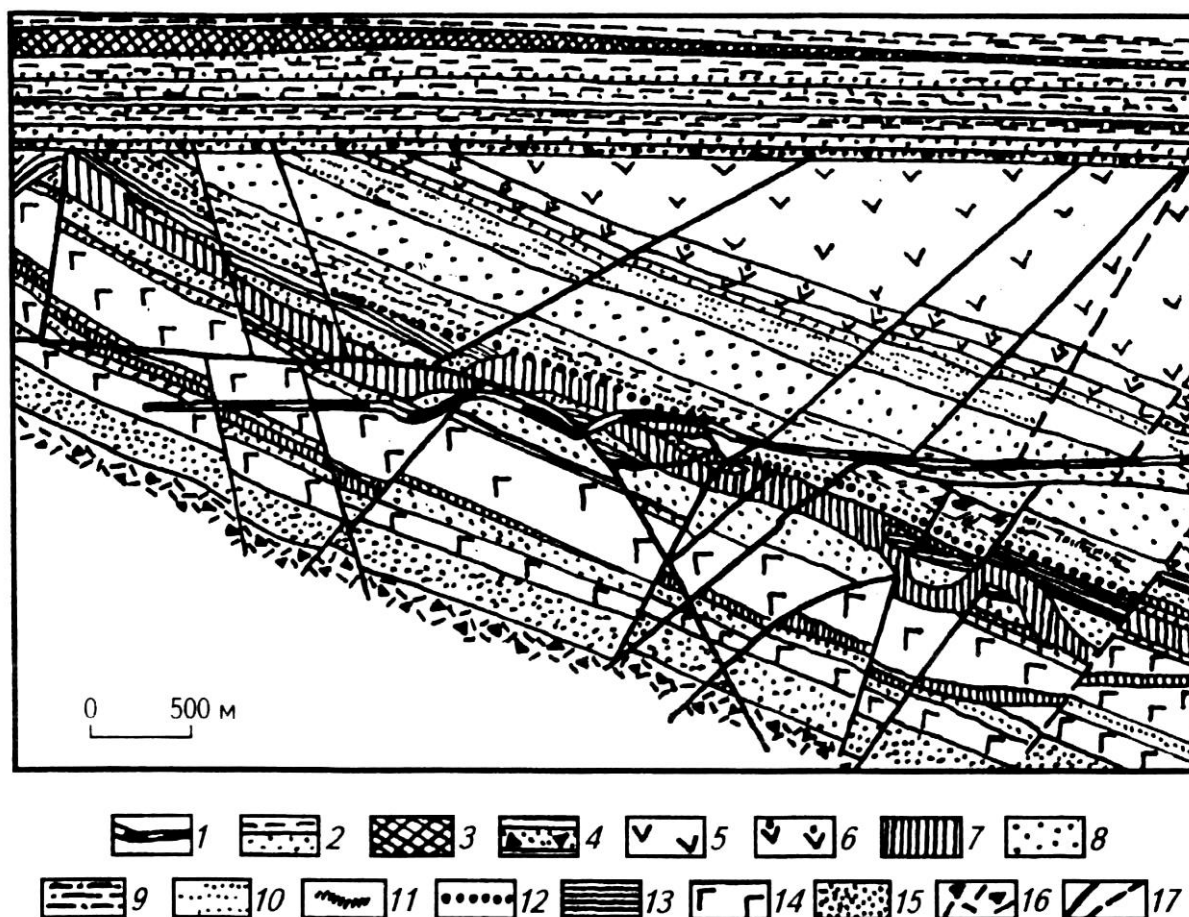


Рис. 4.5. Рудоносные конгломераты рудника Лесли-Голд, Витватерсранд (по К. Твидлу): 1-4 - палеозой: 1 - дайки долеритов, 2 - угленосные отложения, 3 - долериты, 4 - породы основания; 5-16 - протерозой: Вентердорпская система: 5 - амигдалоидные лавы, 6 - порфириты и их туфы, 7 - диабазы (силлы), 8-16 - Витватерсрандская система - формация Кимберли-Эльсбург: 8 - сланцы, 9 - кварциты, 10 - зона прерывистых рифов, 11 - зона кварцитов, 12 - риф Кимберли, 13 - сланцы Кимберли, формация Мейн-Берд, 14 - амигдалоидные лавы, 15 - кварциты, 16 - голубые гравелиты; 17 - разрывные нарушения.

Скарновые месторождения отличаются небольшими масштабами. Они залегают в терригенных и вулканогенно-терригенных толщах среди

карбонатных горизонтов, прорванных малыми интрузиями умеренно кислого состава. Скарны имеют гранат-пироксеновый состав. На территории России они известны в Сибири (Ольховское), на Алтае. Наиболее крупные месторождения находятся в Канаде и Китае.

Месторождения выветривания. Концентрации золота в промышленных масштабах образуются часто на залежах сульфидных золотосодержащих руд. Содержание его в несколько раз выше, чем в первичных рудах. Гипергенное золото встречается в виде кристаллов, пленок.

Россыпные месторождения распространены во всех золоторудных районах мира. На территории России известными районами развития золотосодержащих россыпей являются Восточная Сибирь (Енисейский край, Ленский и Алданский районы), Северо-Восток, Забайкалье, Приамурье.

Золото концентрируется в элювиальных, делювиальных, аллювиальных и прибрежно-морских россыпях, наибольшее значение имеют аллювиальные россыпи.

Золото отлагается в речных долинах в виде лентообразных, шнурковых, линзо- и гнездообразных тел. Наиболее крупные зерна золота (более 0,5 мм) встречаются вблизи коренных источников.

Золотосодержащие месторождения

Известны золотосодержащие колчеданные и полиметаллические месторождения (Широкинское рудное поле, Вост. Забайкалье; Баймакский рудный район, Южный Урал). Они ассоциируют с базальтоидными вулканоплутоническими комплексами.

Серебро

Серебро известно человечеству примерно с XV в. до новой эры. Первоначально оно применялось для изготовления украшений и монет. Серебро обладает белым цветом, гораздо более чистым, чем для всех других из-

вестных металлов. Серебро отражает более 90% видимого света. Плотность $10,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления 962°C .

Мировое производство серебра в 2012 году составило около 34 000 т.

До недавнего времени более 40% серебра использовалось в фото - и кинопромышленности. В настоящее время области использования серебра расширяются по мере развития науки и техники. Серебром покрывают электрические контакты в разнообразной аппаратуре, реле, клавиатурах компьютеров и телефонов. Серебро входит в состав припоев, электродов мощных аккумуляторов. Раньше много серебра расходовалось на изготовление зеркал (сейчас зеркала делают в основном осаждением на стекло паров алюминия). Издавна известно бактерицидное действие очень малых концентраций серебра на питьевую воду. Иодид серебра нашел применения для "разгона" туч, его распыляют в облаках за десятки километров от места проведения массовых мероприятий и дождь проливается на леса и поля.

Генетические типы промышленных месторождений

Главные промышленные месторождения серебра относятся к эндогенным постмагматическим образованиям – гидротермальным, главным образом, вулканогенно-гидротермальным. Кроме того, серебро в повышенных количествах содержится в магматических сульфидных рудах (Норильский район), в скарновых сульфидных и колчеданных полиметаллических месторождениях.

Вулканогенно-гидротермальные месторождения связаны с вулканами дацит-андезит-риолитового ряда. Это близповерхностные золото-серебряные, золото-теллуридные и золотые руды, приуроченные к вулканическим постройкам (кальдеры, вулканокупольные структуры). Обычно это низкотемпературные месторождения со сложным составом руд и значительными концентрациями серебра. Основные рудные формации место-

рождений этого типа: золото-кварц-халцедон-сульфидная, золото-серебро-кварц-адуляровая, золото-сульфидная и другие.

Месторождения золото-кварц-халцедон-сульфидной формации залегают среди вулканических толщ, приурочены или к кальдерам или к пучку радиальных разломов. Рудные тела имеют сложную форму, они характеризуются резкими изгибами, разветвлениями, участками переходят в прожилки и штокверки, сопровождаются множеством апофиз. В минеральном составе преобладают пирит, сфалерит, галенит, содержание сульфидов 15-20%.

Золото находится в кварце вместе с петцитом и калаверитом, содержание высокое (до 50 г/т), распределение неравномерное. Отношение Au/Ag составляет 1:10, 1:12,5. Золото тонкодисперсное, отличается высокой серебристостью и примесью Sb, Hg, Se и Te. Пробность 650-750. Гидротермальные изменения выражаются в процессах окварцевания, адуляризации, каолинизации и карбонатизации.

В рудных телах развиты серебросодержащие блеклые руды, сульфосоли серебра, прустит, аргентит. Месторождения США – Сильвертон-Теллурид, России - Тасеевское (рис. 4.6.), Балеysкое месторождения в Восточном Забайкалье.

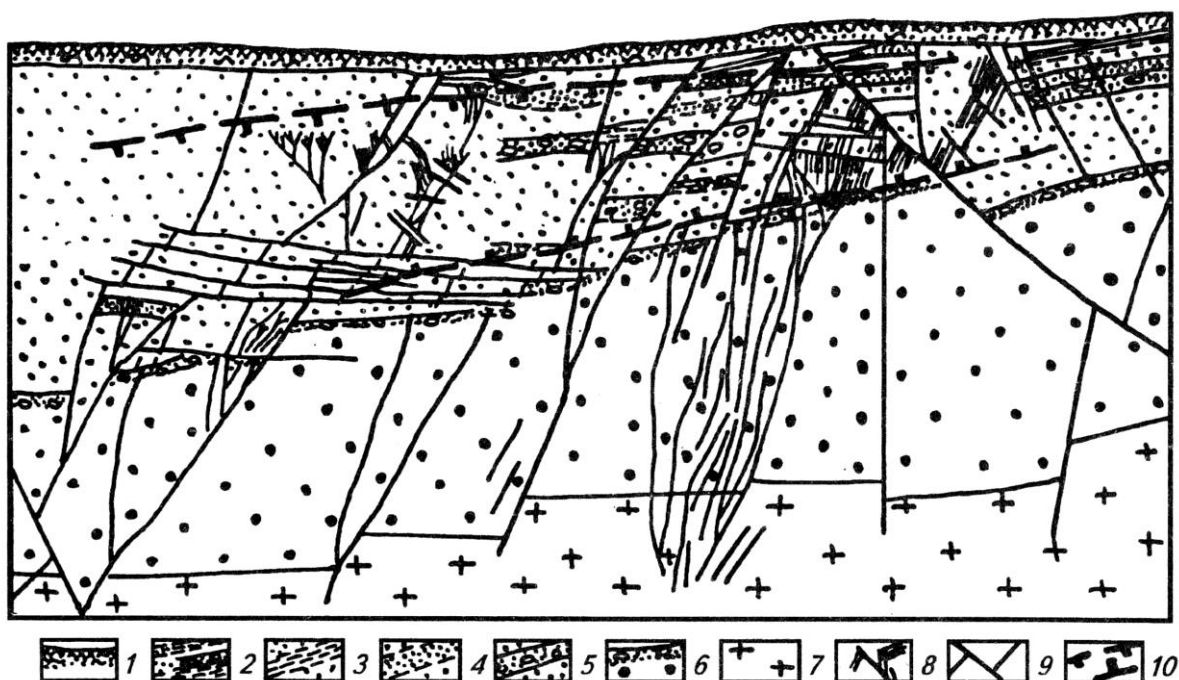


Рис. 4.6. Схематический геологический разрез кварцево-жильных зон Тасеевского месторождения.

Условные знаки: 1 - четвертичные отложения; 2-5 - песчаники, алевриты, конгломераты, вулканомиктовые конгломераты и гравелиты верхнебалеической свиты с прослоями: 3 - алевритов, 4 - песчаников, 5 - конгломератов; 6 - конгломераты с прослоями песчаников нижнебалеической свиты; 7 - гранитоиды ундинского комплекса; 8 - кварцевые жилы и кварцево-жильные зоны; 9 - разрывные нарушения; 10 - зона повышенной рудоносности.

Месторождения золото-серебро-кварц-адуляровой формации приурочены к вулканотектоническим структурам, залегают в андезито-дацитах, риолитах и их туфах. Разрывная тектоника представлена полукольцевыми и радиальными разломами. Рудные тела представляют собой жилы мощностью до 1-3 м, которые образуют пучки. Вмещающие вулканы метасоматически изменены. Наблюдается интенсивная пропилитизация, адуляризация, алунитизация. Рудные жилы имеют кварцевый, кварц-адуляровый и карбонатно-кварцевый состав. Рудные минералы (1-2% жильной массы) – пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, теннантит, сульфосоли серебра, пи-

раргирит, прустит, электрум, золото (проба 500-600), серебро. Примером этой формации является Карамкенское месторождение.

Карамкенское вулканогенно-гидротермальное месторождение.

Рудная формация золото-серебряная, расположено в пределах Охотско-Чукотского вулканического пояса Северо-Востока России (рис. 4.7.). В районе рудного поля широко развиты эффузивные и интрузивные породы, образуя ряд вулкано-плутонических комплексов. Они отвечают трем крупным тектоническим этапам развития Охотско-Чукотского вулканического пояса: апт-туронскому, позднесенон-датскому и раннепалеогеновому. Наиболее древний комплекс представлен миндалекаменными андезито-базальтами, андезитами и андезито-дацитами с редкими прослоями туфов, туфобрекчий и туфоконгломератов. К интрузивной фации относятся небольшие штоки мелкозернистых габбро. Более молодой возраст (72-83 млн. лет) имеют толщи риолитов, риолито-дацитов и туфов с комагматичными телами гранодиорит- и плагиогранит-порфиров. Самые молодые лавовые покровы и сопряженные с ними дайки базальтов имеют палеогеновый возраст (55-59 млн. лет).

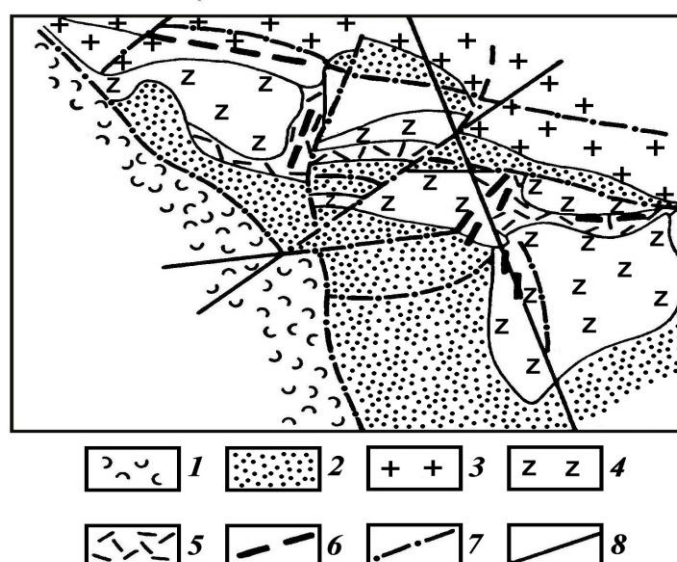


Рис. 4.7. Схема геологического строения Карамкенского месторождения. По П. Бабкину и А. Сидорову.

1 – липариты Средне-Арманской отрицательной вулканической структуры; 2 – осадочные и вулканогенные толщи Магодовено-Хасынского горстообразного поднятия; 3 – среднезернистые граниты; 4 – субвулканические дациты; 5 – субвулканические липариты; 6 – рудоносные жилы; 7 – разломы; 8 – направления важнейших региональных разломов Охотско-Колымского отрезка Охотско-Чукотского вулканического пояса.

Большая часть эффузивных и интрузивных пород в районе месторождения неоднократно подвергалась гидротермальному метасоматозу. Выделяют несколько фаций: пропилитовую, кварц-гидрослюдистую, кварц-каолинитовую, кварц-адуляровую и кварц-каолинит-алунитовую. Рудные жилы кварц-адулярового и кварцевого состава залегают в зоне кварц-гидрослюдистых метасоматитов в трещинах преимущественно северо-восточного простирания.

Мощность жил от нескольких сантиметров до 1 – 3 м. Жильные минералы Карамкенского месторождения: кварц (55-98%), адуляр (до 25%), карбонат и гидрослюды.

Рудные минералы: пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, марказит, золото, электрум, сульфосоли серебра и др. Золото в рудах в виде субмикроскопических (0, 008-0.02 мм) выделений; пробность 500 и ниже.

Характерной особенностью месторождения является широкое развитие глинистых минералов, наличие тонкополосчатых и колломорфных текстур. Собственно окolorудные изменения представлены окварцеванием, пиритизацией и мелкопрожилковой локально распространенной карбонатизацией.

4.2. Месторождения платиноидов

В состав металлов платиновой группы кроме платины входят палладий, иридий, родий, осмий и рутений.

В XVI веке в золотоносном россыпном месторождении Южной Америки был обнаружен тусклый белый металл, его называли «серебришко» от испанского слова plata. Научное описание этого металла сделано в 1741 году. В России Pt впервые была найдена на Урале в 1819 году.

Использование платиноидов обусловлено их уникальными физико-химическими свойствами: тугоплавкостью, химической стойкостью, электропроводностью, пластичностью и другими. Платиноиды применяются как катализаторы (50%), в электротехнической, нефтехимической, автомобильной, медицинской отраслях промышленности (25%), при производстве химической аппаратуры и антикоррозионных покрытий (15%), а также ювелирном деле (10%).

Общие запасы платиноидов зарубежных стран составляют 60180т, из которых более 96% приходится на ЮАР, ресурсы оцениваются в 76000 т. Основное количество металлов платиновой группы (МПГ) заключено в недрах ЮАР, России, Канады, США, Австралии.

По запасам и добыче платиноидов Россия занимает одно из ведущих мест в мире. При этом 99,4% запасов приходится на сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения (Норильский район, месторождения Кольского полуострова). Из этих руд в стране добывается 98,5% платиноидов.

Значительные перспективы связываются с новым типом платиноидных месторождений в черносланцевых комплексах (золото-платиновые проявления Онежской и Ветреного пояса впадин в Южной Карелии, платиносодержащие рудопоявления Воронежского кристаллического массива и других районов России).

Россыпи разрабатываются на Урале более 170 лет. Выявленная в Хабаровском крае Кондерская россыпь по количеству и содержанию платиноидов превышает уральские россыпи. Разрабатываются россыпи Корякского

нагорья. Проведены разведочные работы на россыпных месторождениях Сев. Камчатки и на Таймыре.

Промышленными считаются коренные руды с содержанием платиноидов от 3-5 до 10-15 г/т, в россыпях – 0,1 г/м³ песков.

Кларки платиноидов в земной коре очень низкие (в г/т): Pd - 0.01 , Pt -0.005, Rh - 0.001 , Ir - 0.001 , Ru - 0.001 , Os - 0.0015.

В эндогенных процессах платиноиды связаны с глубинными ультраосновными и основными магмами. В экзогенных процессах металлы платиновой группы накапливаются в аллювиальных и других россыпях.

Платиноиды содержатся в составе более 90 минералов. Среди них выделяются: 1) самородные платиноиды и природные сплавы – изоферроплатина (Pt₃Fe), осмирид (Ir,Os); иридосмин (Os,Ir); рутениридосмин (Ru,Os,Ir); 2) интерметаллические соединения с Sn, Pb, Bi, Sb и Te; 3) сульфиды, арсениды, сульфоарсениды – куперит (PtS₂), сперрилит (PtAs₂).

Генетические типы промышленных месторождений

Месторождения разделяются на собственно платиноносные и платиносодержащие.

Среди эндогенных платиноносных месторождений выделяются раннемагматические (типа рифа Меренского в Бушвельдском массиве), позднемагматические (типа Нижне-Тагильского месторождения).

Месторождения, содержащие платиноиды в качестве попутных компонентов, относятся к следующим группам: ликвационные медно-никелевые норильского типа (медь-никель-платиновая формация); хромитовые с платиноидами кордильерского типа; комплексные медно и молибден-меднопорфировые месторождения. Выделяются также полигенные, экзогенные (россыпи) и техногенные источники добычи платиноидов.

Ликвационные месторождения, формация платиноидно-медно-

никелевая сульфидная – наиболее важный для России тип, к которому относятся крупнейшие Талнахское и Октябрьское месторождения (Норильский рудный район), которые по содержанию и запасам МПГ не имеют себе равных среди других сульфидных платиноидно-медно-никелевых объектов мира. Платиновая минерализация сконцентрирована в сульфидных рудах рудоносных интрузивов и в экзоконтактовых метасоматитах.

Платиноносные рудные тела относятся к нескольким типам: пластообразные пологозалегающие слои с вкрапленностью пентландит-халькопирит-пирротинового состава; инъекционно-магматические сплошные руды плитообразных залежей, линз и жил; инъекционно-метасоматические прожилково-вкрапленные руды; брекчиевидные руды.

Наибольшие концентрации платины и палладия установлены в линзах и жилах сплошных руд внутри интрузивов. По содержаниям МПГ месторождения Норильского рудного района являются уникальными: содержание Pd достигает 200 г/т (ранее до отработки до 2 кг/т), Pt – до 60 г/т, Rh – до 17 г/т. Максимально обогащенными Pd являются руды Октябрьского, а Ir и Ru – Талнахского месторождения.

Минералы платиноидов образуют микроскопические мономинеральные выделения размером 1-15 мкм или полиминеральные сростки до 70 мкм.

В Печенгском районе (Кольский полуостров) запасы МПГ более чем в 100 раз уступают норильским. Наиболее значительными в этом районе являются Ждановское и Заполярное месторождения. Из платиновых минералов здесь установлены сперрилит, атоцит, меренскит, майченерит и другие. Содержание Pt – 0,02-0,23 г/т, Pd – 0,04-0,39 г/т.

Из зарубежных к этой формации относится ряд месторождений Бушвельда (ЮАР), Садбери (Канада), Камбалда (Австралия).

Раннемагматические месторождения (формация малосульфидная платинометальная). Наиболее крупным и типичным представителем этой формации является Риф Меренского (ЮАР), сюда же относится месторождение Стиллуотер, являющееся главным источником МПГ в США. Риф Меренского сложен перемежающимися пироксенитами и анортозитами с гнездами и прожилками хромитов. По простиранию он прослежен на 230 км при средней мощности 0,8 м. Минеральный состав Рифа: ромбический пироксен, битовнит, биотит, хромит, магнетит, ильменит. Участки вкрапленных руд содержат пирротин, пентландит, халькопирит, кубанит, миллерит. Минералы платиновой группы представлены ферроплатиной, куперитом, сперрилитом, теллуридами платины и палладия. Содержание платиноидов 5-15 г/т. Доля платины в рудах составляет 60%, палладия – 25%, остальное приходится на другие платиноиды. Ресурсы оцениваются в 18 тысяч тонн.

Позднемагматические месторождения (формация платиносодержащих хромитовых руд). Важнейший для зарубежных стран в промышленном отношении генетический тип. Он представлен месторождениями Бушвельда. В России к этому типу относятся Нижне-Тагильское, Рай-Изское (Урал), Гулинское (Сибирь) месторождения.

Платиновая минерализация Бушвельда (ЮАР) формировалась на разных этапах магматического процесса. Позднемагматические трубообразные залежи платиноносных дунитов крутопадающие; залежи имеют диаметр 10-100 м и прослеживаются на глубину до 300 м.

Минеральный состав – хромшпинелиды, оливин, пироксены, титаномагнетит в сростках с минералами платиноидов: поликсеном, самородной платиной, ферроплатиной, иридистой платиной.

Нижнетагильский тип представлен знаменитым платиноносным поясом, который прослеживается на 900 км вдоль Главного Уральского разлома. Ряд массивов пояса при разрушении образовали гигантские россыпи

платиноидов, которые начали отрабатываться на Урале с 1824 года. Месторождения связаны с массивами дифференцированных ультраосновных пород.

Общий перечень платиновых минералов в платино-хромитит-дунитовых месторождениях Платиноносного пояса Урала следующий: Pt самородная, железистая, иридистая, медистая, никелистая, поликсен, изоферроплатина, платинистый иридий, иридий самородный, осмирид, иридо-смин, самородный осмий, куперит и др.

В дунитах отмечаются шпирь, гнезда, жилы, прожилки хромитов (преобладают магнохромит и хромит). Для хромититов Нижне-Тагильского массива характерны следующие содержания (в г/т): Pt – 0-19,4; Pd – 0-2,22; Rh – 0-0,043; Ru – 0,26-0,43; Ir – 0-0,2; Os – 0,27-0,56. Были встречены платиновые самородки, наиболее крупный из которых весил 427 г.

Потенциально значимыми являются платиноносные месторождения Корякско-Камчатского пояса, месторождения Алданского типа Кондер и др.

Платиносодержащая титаномagnetитовая формация. В целом ряде ванадийсодержащих титаномagnetитовых месторождений установлены платиновые минералы.

Чинейское месторождение железо-титан-ванадиевых руд (Сев.Забайкалье) является крупнейшим в России по ванадию. Максимально обогащенными платиновыми минералами являются породы железорудной серии, в которой преобладают Pt (0,2-0,3 г/т) и Pd (0,1-0,5 г/т).

Платиносодержащая меднорудная формация. Медистые песчаники ряда месторождений: Удоканского, Сухаринского, Предуральского прогиба содержат повышенные количества платиновых металлов. На Удоканском месторождении отмечаются следующие содержания благородных металлов (в г/т): Pd – 0,2-0,08; Ag – 77-675; в меньшей мере Au -0,1; Pt -0,03; в место-

рождениях Предуральского прогиба Pt до 0,6; Pd – 2,4; Rh до 4,1; Вороного бора Заонежья Pd до 7,1 г/т.

Платиносодержащая соленосная формация. В нерастворимом остатке, выделенном из красных сильвинитов Верхнекамского месторождения калийных солей, отмечается содержание благородных металлов (в г/т): Pt – до 24,2; Pd – 3,4; Rh – 0,43; Au – 25 и Ag – 172.

Россыпные месторождения формируются при разрушении сравнительно бедных, но значительных по площади и запасам интрузивных массивов.

Россыпи Урала в течение длительного времени были главным источником платины во всем мире. Наиболее богатые россыпи были установлены в Нижнетагильском, Исовском, Косьвинском районах. Добыча платиноидов продолжается и сейчас. Ведущим минералом уральских россыпей является платина. Нередко встречаются самородки, самый крупный весил 9,6 кг.

В 1991 году были открыты промышленные россыпи уральского типа на севере Камчатки.

Зарубежными аналогами данного типа россыпей являются россыпи Британской Колумбии и Аляски.

Россыпное месторождение алданского типа – Кондер является крупнейшим в стране и мире. Преобладающим минералом россыпи является изоферроплатина, встречаются включения осмиридия, платосмиридия, а также мелкие включения других платиноидов. Среднее содержание МПГ составляет 0,2-2 г/т м³.

Платиноиды установлены также в древних метаморфизованных россыпях. Так, в метаморфизованных древних конгломератах ЮАР (район Витватерсранд) содержатся осмистый иридий, платинистый иридий, сперрит, куперит.

Перспективные типы платиносодержащих месторождений:

1. Железо-марганцевые конкреции Мирового океана.
2. Глубоководные полиметаллические сульфидные образования.
3. Платиноносные офиолитовые комплексы.
4. Платиносодержащая полиметальная формация черных сланцев и метасоматитов. Здесь выделяются: онежский тип – кратко охарактеризован в разделе «Ванадий»;
сухоложский тип – описан в разделе «Золото»;
5. Техногенные месторождения. Хвосты, отвалы и различные промпродукты платинометалльных и платиносодержащих месторождений (платиноидных, хромитовых, полиметаллических, медно-молибденовых, медных, россыпных золоторудных, в том числе древних метаморфизованных).

Глава 5. Генетические типы месторождений технического минерального сырья и кристаллов

Обширная группа минералов и горных пород, используемых в промышленности, относится к неметаллическим полезным ископаемым. По существу нет ни одной отрасли хозяйства, где бы в той или иной мере не использовалось это сырье. В настоящее время насчитывается свыше 150 видов неметаллических полезных ископаемых, используемых в естественном или переработанном виде. Как правило, рассматриваемые полезные ископаемые представляют собой сырье многоцелевого назначения. Из них получают различные химические элементы (серу, фосфор, хлор, фтор, бор, калий, натрий и др.), и их соединения. Среди последних присутствуют и специфические виды топлива (соединения бора, фтора и др.). Промышленные месторождения составляют также ценные минералы (в том числе монокристаллы и кристаллические агрегаты) и ценные с практической точки зрения

горные породы, обладающие необходимыми физическими (электропроводность, плотность и др.), химическими (растворимость, кислотоупорность, щелочеупорность и др.) и техническими (монолитность, декоративность, абразивность, огнестойкость и др.) свойствами.

5.1. Месторождения алмазов

Алмаз (C) – характеризуется высокой твердостью (10 по шкале Мооса), алмазным блеском и исключительной игрой цветов, возникающей при разложении белого цвета. Алмаз нерастворим ни в кислотах, ни в щелочах, его плотность $3,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления $3200-4000^0 \text{ С}$, температура сгорания на воздухе $850-1000^0$, при нагревании до $1200-1500^0 \text{ С}$ без доступа воздуха переходит в графит. Окраска алмазов разнообразна: различают бесцветные кристаллы («чистой воды»), бесцветные с голубым, желтым, зеленым, розовым и другими оттенками и окрашенные – синие, красные, зеленые, желтые. В кристаллах алмазов встречаются твердые включения, примеси воды, водорода, углеводородов, углекислого газа, азота.

В метеоритах известна гексагональная разновидность алмаза - лонсдейлит, близкая к нему по свойствам. Гексагональная разновидность алмаза встречается и в трубках ударного типа.

К ювелирным алмазам относят достаточно крупные кристаллы совершенной формы, окраски, исключительной прозрачности, без трещин, включений, дефектов. Минимальный размер ювелирных алмазов 0,05 карат; крупными считаются камни более 10 карат, если масса превышает 50 карат, ему присваивается название. Крупные алмазы подвергают обработке с получением бриллиантов, при этом теряется более 50 % их массы. Самый крупный алмаз Куллинан (масса 3106 карат) был обнаружен в 1905 году в трубке Премьер (ЮАР). Из него было получено два крупных бриллианта: Звезда Африки (510,2 карат) и Куллинан-2 (317,4 карат) и 103 мелких.

Свыше 90 % алмазного сырья приходится на долю технических алмазов, среди которых различают борт, баллас, карбонадо и конго. Борт – мелкие, неправильные кристаллы, сростки кристаллов. Баллас – шарообразные мелкозернистые агрегаты. Карбонадо – тонкозернистые, пористые агрегаты черного, серого или зеленоватого цветов. Конго – наиболее низкосортные мелкие алмазы.

Технические алмазы широко применяются в машиностроении, электронной, авиационной, автомобильной и других отраслях промышленности. Они используются для изготовления резцов, сверл, подшипников, армирования буровых колонок, шлифовальных кругов, дисковых пил и др.

Подавляющая часть запасов алмазов России (около 82 %) и практически вся добыча сосредоточены в республике Саха (рис. 5.1.). Общая доля АК «АЛРОСА» в мировой алмазодобыче оценивается в 22-23 %.

В 2005 году компания «АЛРОСА» начала вести добычные работы на месторождении им. М.В. Ломоносова в Архангельской области (рис. 5.2.). Более 40 лет назад установлена алмазность Воронежской антеклизы. Многолетние исследования не привели к выявлению кимберлитовых тел, но показали принципиальную возможность прогноза коренных месторождений.

По объему производства алмазов в физическом выражении (33 млн. карат в 2004 году) Россия занимает первое место в мире, а по их стоимости – второе после Ботсваны.

Всего в мире за год добывается около 150 млн. карат или 30 тонн. Основная часть добычи приходится на Россию, Ботсвану, ЮАР и Канаду. В настоящее время на 5-е место по стоимости добытых алмазов вышла Канада, на территории которой выявлено свыше 500 кимберлитовых трубок и даек. Россия сохраняет лидирующее положение на начало 2006 года.

Генетические типы промышленных месторождений

По условиям образования месторождений алмазов различают: эндогенные - раннемагматические, метаморфогенные, экзогенные - россыпи, импактные.

Раннемагматические – наиболее значимый промышленный тип, представлен двумя формациями - алмазоносных кимберлитов и лампроитов. Образование алмазов связано с продуктами платформенного магматизма.

В настоящее время выявлено более 3000 тел кимберлитов, из них 10 % алмазоносны и только 2,5 % промышленные. Кимберлиты выполняют трубки – конусообразные, суживающиеся вниз тела в плане округлой, эллипсовидной, реже более сложной формы, прослеживаемые на глубину до 2 км и более. Площади выхода наиболее крупных из них достигают десятков и первых сотен гектаров. Самая крупная кимберлитовая трубка Мвадуи в Танзании достигает размеров на поверхности 2525 x 1068 м.

Возраст большинства южноафриканских трубок – меловой, трубки района Претория (трубка Премьер и др.) имеют докембрийский возраст. На Сибирской платформе кимберлитовый магматизм проявился от позднего протерозоя до юры. Кимберлиты и лампроиты Западной Австралии имеют возрастной диапазон от протерозоя до миоцена.

Кимберлиты представляют собой автомагматическую брекчию флогопитовых перидотитов, обычно серпентинизированную и карбонатизированную. Характерной особенностью кимберлитов является присутствие в них обломков вмещающих пород чехла, метаморфических образований кристаллического фундамента, глубинных мантийных ксенолитов.. Типоморфными акцессорными минералами кимберлитов являются пироп, хромшпинелиды, хромдиопсид, энстатит, пикроильменит и др. Очень богатые трубки содержат 3 – 4 карата алмазов на одну тонну породы. С глубиной содержание алмазов обычно снижается.

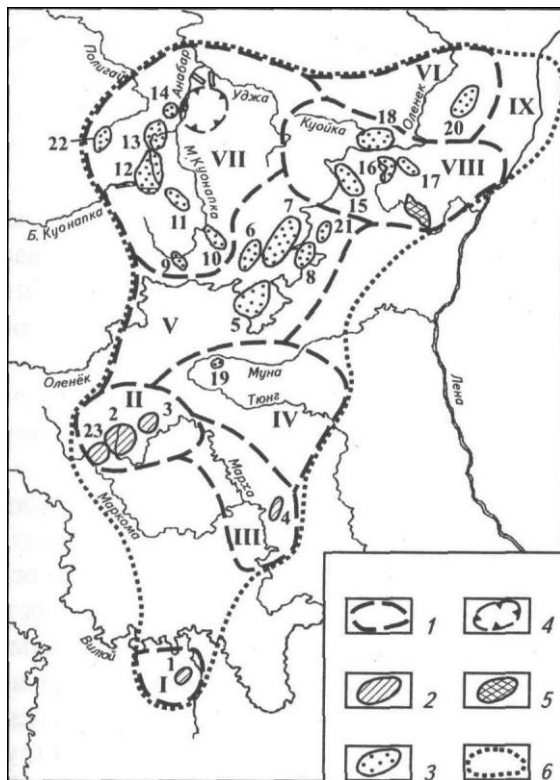


Рис. 5.1. Схема размещения алмазоносных районов, кимберлитовых полей и россыпей алмазов в Якутской алмазоносной субпровинции (по А.Д.Харькиву, Н.Н.Зинчуку, В.М.Зуеву):

1 - алмазоносные районы: I – Мало-ботуобинский, II – Далдыно-Алакитский, III – Среднемархинский, IV – Муно-Тюнгский, V – Среднеоленинский, VI – Нижнеоленинский, VII – Анабарский, VIII – Приленский; 2 – рудно-россыпные поля: 1 – Мирнинское, 2 – Алакитское, 3 – Далдынское, 4 – Накынское; 3 – кимберлитовые поля: 5 – Чомурдахское, 6 – Западно-Укукитское, 7 – Восточно-Укукитское, 8 – Огонер-Юряхское, 9 – Куранахское, 10 – Лучаканское, 11 – Дюкенское, 12 –

Ары-Мастахское, 13 – Старореченское, 14 – Орто-Ыаргинское, 15 – Мерчимденское, 16 – Молодинское, 17 – Толуопское, 18 – Куойкское, 19 – Мунское; 20 – Хорбусуонское, 21 – Моторчунское, 22 – Анабарское; 23 – Моркокинское; 4 – россыпные поля (Эбеляхское); 5 – отдельные промышленные россыпи алмазов; 6 - границы Якутской алмазоносной субпровинции.

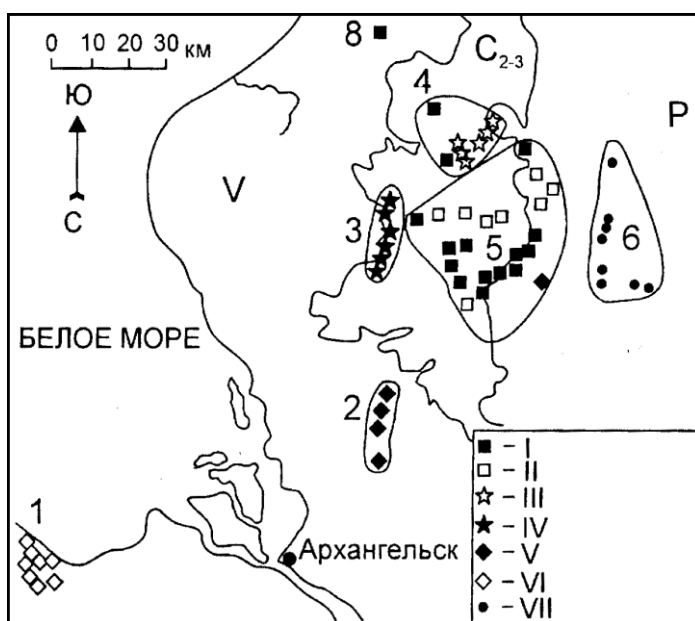


Рис. 5.2. Схема размещения основных видов и геохимических типов магматических пород Архангельской провинции (по О.А. Богатику и др.). Поля магматизма: 1 – онежское (Онежский п-ов); 2 – мозерское; 3 – Золотицкое; 4 – Верхотинское; 5 – Кепинское; 6 – Турьинское; 7 – Полтинское; 8 – Пинежское. Типы пород: 1 – кимберлиты I группы; 2 – оливиновые мелилититы I группы; 3 – кимберлиты II

группы; 4 – оливин-флогопитовые мелилититы II группы; 5 – оливиновые мелилититы II группы; 6 – оливин-пироксеновые мелилититы; 7 – толеитовые базальты.

При выветривании в условиях теплого и влажного климата кимберлит разрушается, гидратируется, приобретает синевато-зеленую окраску («синяя земля»), первичная структура породы при этом сохраняется. Дальнейшее разрушение и окисление превращают его в землистую глиноподобную массу, окрашенную гидроокислами железа в желтый цвет («желтая земля»). Вопрос об образовании самих алмазов в трубках решается неоднозначно. Большинство геологов связывают образование алмазов с мантийными условиями за счет углеводородов: $\text{CH}_4 = \text{C} + 2\text{H}_2$

Алмазоносные кимберлитовые трубки известны в Южной Африке (Премьер, Кимберли, Де-Бирс и другие в ЮАР, в Лесото, Ботсване, Танзании, Зимбабве и др.), на Сибирской (Мир, Удачная, Зарница, Ботуобинская, Нюрбинская, Айхал и др. рис. 2.) и Восточно-Европейской (Архангельская, им.Ломоносова, Пионерская, Поморская, им.Карпинского, им.В. Гриба и др. рис. 3.) платформах. Они известны также в Анголе, Сьерра-Леоне, Бразилии, Индии и других странах.

Лампроиты- Лампроитовые трубки сравнительно недавно выявлены в Западной Австралии, ряд трубок (Аргайл и др.) разрабатывается.

Метаморфогенные алмазы. Метаморфогенное образование происходит в условиях эклогитовой фации, при которых углерод графита переходит в кристаллическую структуру алмаза. Такие алмазы выявлены в 1990 году на Южном Урале в Кокчетавской глыбе в раннекембрийском эклогитовом метаморфическом поясе. Алмазоносные залежи образовались в углеродистых силикатных и карбонатных породах [13]. Алмазы крайне мелкие 10 - 300 микрон, в среднем 60 микрон, пригодные только для производства абразивов.

Россыпи. Алмазы могут накапливаться в россыпях различных генетических типов: элювиальных, делювиальных, аллювиальных и литоральных. Главнейшими являются современные аллювиальные и литоральные россыпи.

Содержание алмазов снижается по мере удаления от коренных источников. Протяженность таких россыпей может достигать десятков километров, ширина – десятков – первых сотен метров, мощность – несколько метров, средние содержания алмазов местами могут достигать десяти каратов на м³ и более.

Классическими районами современных аллювиальных россыпей являются россыпи Зап. Африки (Заир, Ангола, Гвинея и др.), Бразилии (штат Минас-Жераис), Зап. Австралии, в России (Ботуобинская и Эбеляхская россыпи на Сибирской платформе).

Наиболее выдающимися в мире представителями литоральных – прибрежно-морских россыпей являются россыпи Атлантического побережья Южной Африки (ЮАР и Намибия).

Ископаемые россыпи самостоятельного значения обычно не имеют, однако они могут являться источниками алмазов для формирования современных россыпей.

Импактные алмазы обнаружены в астроблемах. Попигайская астроблема диаметром около 100 км возникла в конце эльцена на краю Анабарского массива, с ней связаны гигантские ресурсы технических алмазов, возникших за счет ударного воздействия на графитсодержащие породы.

Синтетические алмазы. В 50–х годах XX века налажено широко-масштабное производство искусственных алмазов в США, России, ЮАР, Японии, и др. Существуют технологии получения синтетических алмазов с полупроводниковыми свойствами. Уникальные характеристики позволяют рассматривать такие синтетические алмазы как материал для электроники.

Алмазы извлекаются и при попутной добыче, например, из золотоносных конгломератов Витватерсранд (ЮАР).

5.2. Месторождения исландского шпата

Исландский шпат $\text{Ca}[\text{CO}_3]$ – прозрачная разновидность кальцита тригональной сингонии, встречается в виде кристаллов или сростков кристаллов, которые в зависимости от примесей окрашены в желтый, розовый, бурый и другие цвета. Использование его в оптической промышленности основано на оптической однородности, очень высоком двупреломлении, прозрачности и проницаемости для ультрафиолетовых и видимых лучей света. Сотни оптических приборов в оптической физике, геологии, химии, биологии, медицине, электронно-вычислительной технике, космонавтике, технике связи нуждаются в кристаллах оптического исландского шпата - поляризационные микроскопы, полярометры, спектрофотометры, сахариметры и др.

На качество кристаллов исландского шпата влияют различные дефекты, возникающие как в процессе роста кристаллов, так и после его завершения. На сортность кристаллов существенное влияние оказывают их размеры. Стандартным сырьем исландского шпата являются пластины, блоки и спайные ромбоэдри. Размер бездефектной области должен быть 10x10x10 мм, минимальные размеры ромбоэдров 29x29x9 и 18x18x14 мм.

Генетические типы промышленных месторождений

Известны два генетических типа - вулканогенно-гидротемальный и телетермальный. Экономическое значение последнего незначительное.

Вулканогенно-гидротемальные низкотемпературные месторождения находятся на древних платформах, связаны с породами трапповых формаций. Они могут быть приурочены к базальтовым покровам, к пластам и

линзам туфогенных пород, к рвущим телам долеритов. Исландский шпат ассоциирует с цеолитами, анальцимом, халцедоном и монтмориллонитом.

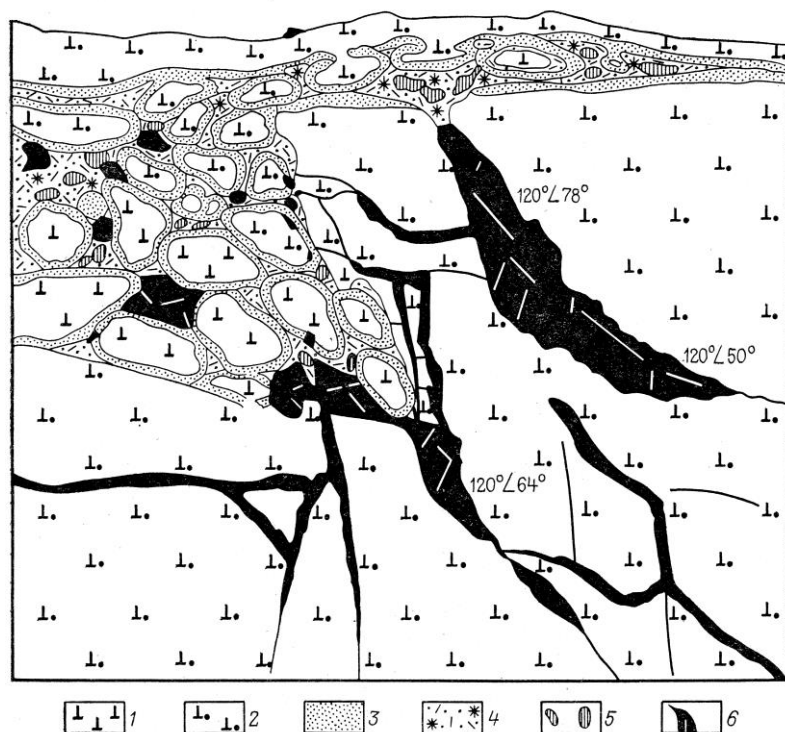


Рис. 5.3. Скопления исландского шпата в клиновидных трещинах миндалекаменных базальтов и в перекрывающих их шаровых лавах. По М. С. Васильевой:

1—2 — базальт: 1 — плотный, 2 — миндалекаменный; 3 — мандельштейн; 4 — дресва шаровых лав с морденитом, халцедоном, кальцитом; 5 — выделения халцедона; 6 — блоковый кальцит и кристаллы исландского шпата.

Выделяют три главных геолого-промышленных типа месторождений. Главный тип представлен шпатоносными телами в базальтовых покровах. Они локализуются в структурах коробления миндалекаменных базальтов (трещинный тип) или в горизонтах и линзах шаровых лав. Исландский шпат образует гнезда в межшаровых пустотах, а также выполняет клиновидные и неправильные трещины в мандельштейнах и миндалекаменных базальтах (рис. 5.3.). Залежи имеют протяженность до 1 км при мощности в первые метры. Исландский шпат — высокого и среднего качества. Масса уникальных кристаллов достигает 300 кг.

Второй геолого-промышленный тип — шпатоносные тела в туфогенных породах, они связаны с зонами дробления, достигают протяженности 400 — 500 м при мощности 2 — 10 м. Качество кристаллов невысокое обычно из-за присутствия в них включений.

Третий геолого-промышленный тип представлен шпатоносными телами, связанными с рвущими интрузиями долеритов, они контролируются зонами разломов. Тела имеют протяженность до 300 м при мощности до 10 м. Качество кристаллов низкое. Иногда в трещиноватых и брекчированных апикальных частях долеритовых тел могут появляться богатые шпатоносные тела с высококачественными кристаллами.

Классическим примером вулканогенно-гидротермальных месторождений исландского шпата являются многочисленные месторождения Сибирской платформы, на Тимане, за рубежом: в ЮАР, в Индии среди траппов Карру.

Телетермальные месторождения имеют резко подчиненное значение, они представлены сериями мелких кальцитовых жил в разломах и карстовых полостях среди карбонатных пород. Кристаллы часто замутненные и белые, размеры могут достигать десятков сантиметров.

5.3. Месторождения горного хрусталя

Горный хрусталь - бесцветная прозрачная разновидность кварца. Кварц является одним из самых распространенных и хорошо изученных минералов в земной коре.

Практическое использование кварца связано с возможностью изготовления из него специальных стекол, характеризующихся прозрачностью, химической и термической стойкостью. В качестве пьезокварца применяется горный хрусталь и его окрашенные разновидности – лимонно-желтый цитрин, дымчатый кварц (раухтопаз), смоляно-черный морион. Масса большинства кристаллов 250 – 500г, встречаются кристаллы, масса которых достигает сотен килограммов, а иногда нескольких тонн. Промышленное значение имеет кварц, кристаллизующийся в тригональной сингонии. Раз-

личают правые и левые формы кристаллов кварца, которые обусловлены отсутствием плоскости и центра симметрии, вследствие чего у кристаллов образуются пьезоэлектрические свойства.

Области применения горного хрусталя разнообразны. Для производства прозрачного кварцевого стекла применяются: кристаллы и обломки кристаллов горного хрусталя, прозрачный жильный кварц и метаморфизованный гранулированный кварц. Кварцевое стекло применяется в светотехнической, оптико-механической и других отраслях промышленности. Особо чистое стекло идет на изготовление высокотемпературных реакторов, оптических телескопов, тиглей для выращивания полупроводниковых монокристаллов; используется в радарных установках, быстродействующих ЭВМ и др. В оптике из кварца делают линзы, концентрирующие ультрафиолетовые лучи, призмы для спектрографов.

Прозрачные крупные кристаллы кварца встречаются редко. Те, из которых могут быть получены бездефектные монокристаллы определенных размеров, называются пьезооптическим кварцем. Если для оптических целей пригодны лишь прозрачные кристаллы (горный хрусталь), то для пьезотехнических целей возможно использование окрашенных разновидностей. Пьезооптический кварц применяется главным образом в радиотехнике, ультразвуковой технике и оптике. В радиотехнике пьезооптические пластины служат деталями стабилизаторов и частотных фильтров. В ультразвуковой технике пьезоэлементы применяются для изготовления различных приборов: эхолотов и пьезодатчиков.

В связи с тем, что потребность в пьезокварце не обеспечивается природным сырьем, во многих странах, в том числе и России, налажено производство синтетического кварца.

В соответствии с требованиями промышленности можно выделить следующие виды кристаллического сырья: пьезокварц и оптический кварц.

Наиболее высокие требования предъявляются к пьезооптическому сырью. Для пьезоизделий пригодны кристаллы, гальки, куски и обломки кварца, имеющие бездефектную поверхность – монокристалл, в котором отсутствуют включения минералов, пород, газа и жидкости. Кристаллы должны иметь совершенную решетку, лишенную двойников, включений, деформационных нарушений.

Основным качеством, которым должно обладать сырье для получения оптического стекла, является его исключительная химическая чистота: содержание SiO_2 более 99,9 %, Al и Fe – менее тысячных долей процента, Mg и Ti – не более десятитысячных долей процента. Вредными являются все виды примесей.

Свыше 95 % добычи кристаллов пьезооптического кварца приходится на долю Бразилии, в последние десятилетия добыча составляет 7 – 4 т/год. Менее дефицитный жильный кварц добывается во многих странах. В 1971 году получено 1300 т. кварцевого стекла, в том числе в США – 650 т. США являются не только производителем кварцевого стекла, но и наиболее крупным его импортером. Импорт из Англии, Франции, Германии и Японии достигает 350 т. в год. Высококачественный кварц добывается во Франции, Австралии, Японии, Швейцарии и других странах. Разработка месторождений осуществляется в России, Китае, Германии. Производство кристаллов, полученных искусственным путем, значительно превышает продукцию природных источников.

Генетические типы промышленных месторождений

Среди промышленных месторождений пьезооптического кварца и кварца для плавки можно выделить следующие типы месторождений: пегматитовый, метаморфогенно - гидротермальный, метаморфизованный и россыпи.

Пегматиты с полостями-занорышами, содержащими кристаллы дым-

чатого кварца или мориона, встречаются довольно часто, но часто оказываются непромышленными из-за низкого качества кристаллов или небольших масштабов минерализации. Известные крупные месторождения тесно связаны с гранитными интрузиями и расположены часто в зоне их внутреннего контакта.

Пегматитовые тела с кристаллами кварца и флюорита характеризуются изометричной формой, наличием хорошо развитого кварцевого ядра. Наиболее дифференцированные пегматитовые тела обычно являются самыми продуктивными.

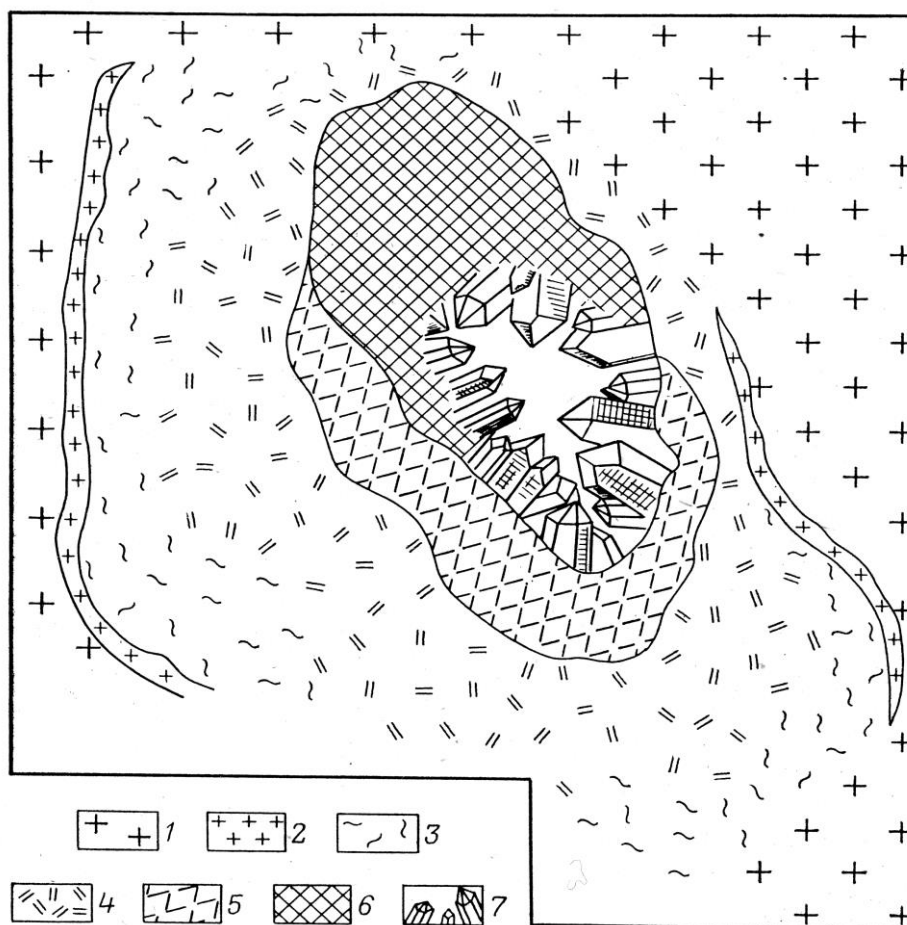


Рис.5.4. Схематический разрез камерного пегматита. По Е. Я. Киевленко: 1 — гранит; 2 — аплитовая оторочка; 3 — 6 — зоны: 3 — графического пегматита, 4 — пегматоидная, 5 — микроклиновая, 6 — кварцевое ядро; 7 — полость с кристаллами мориона.

Скопления пьезооптических минералов приурочены к полостям. Полости содержат хорошо ограненные кристаллы кварца, флюорита, топаза и заполнены слюдисто-глинистыми образованиями (рис. 5.4.). Размеры полостей варьируют от мелких занорышей объемом в десятые и сотые доли кубического метра до крупных погребов или камер длиной 10 – 20 метров.

Главными минералами хрусталеносных пегматитов являются микроклин и кварц, в меньшей степени распространены альбит, олигоклаз и биотит. Из других минералов встречаются топаз, берилл, ортит, литиевые слюды и флюорит. Хрусталеносные пегматиты могут служить источником получения драгоценных камней.

Пьезокварц в пегматитах обычно представлен морионом. Масса отдельных кристаллов иногда достигает нескольких десятков тонн, а масса кондиционных кристаллов может быть до 1000 кг.

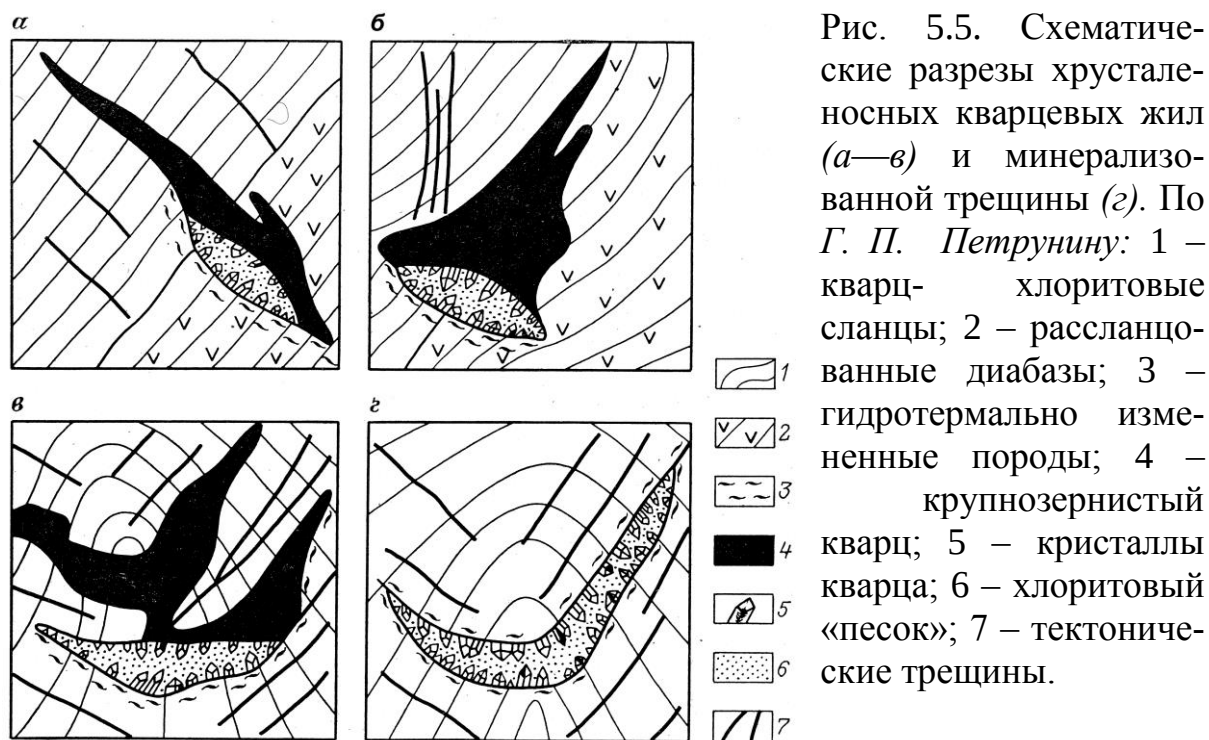
Месторождения хрусталеносных пегматитов известны в России (Карелия, Кольский полуостров, Урал, Мамско-Чуйский район в Сибири), на Украине, в Казахстане, а также в Бразилии, Индии, США и других странах.

Метаморфогенно - гидротермальный тип является основным источником получения пьезокварца. Особенностью их образования является взаимодействие гидротермальных растворов с боковыми породами, что объясняет их приуроченность к горным породам, богатым кремнеземом – кварцитам, кварцево – слюдистым сланцам, гранитоидам и др.

Месторождения представлены двумя морфогенетическими типами рудных тел: хрусталеносные кварцевые жилы и минерализованные трещины.

Хрусталеносные кварцевые жилы обычно пространственно связаны с массивами гранитоидов и располагаются в зоне их эндо- и экзоконтакта. Как правило, они группируются в жильные поля и жильные зоны, положение которых контролируется разрывными тектоническими нарушениями.

Форма жил разнообразна. Наряду с простыми жилами нередко встречаются сложные ветвящиеся и пересекающиеся кварцевые жилы и прожилки (рис. 5.5.). Первоначальная форма значительно осложнена в результате перекристаллизации как кварцевого тела, так и вмещающих пород. Размеры могут быть значительными: длина по простиранию до 500 м при мощности от 15 до 30 м, но большинство кварцевых жил имеет небольшие размеры. Характерная особенность кварцевых жил – наличие в них значительного числа полостей, содержащих кристаллы кварца иногда очень больших размеров. Крупные полости объемом более 1 м^3 принято называть хрустальными погребками. Полости чаще всего расположены в зальбандах и на выклинивании кварцевых жил, а также в местах пересечения трещин и ответвления апофиз.



Кварцевые жилы имеют очень простой минеральный состав. В основном они бывают почти мономинеральными кварцевыми, иногда помимо кристаллов кварца в жилах встречаются альбит, карбонаты, рутил, брукит,

анатаз, турмалин и другие минералы. Жильные кварц имеет средне- и крупнозернистую, шестоватую, иногда друзовую структуру.

Гидротермальные изменения боковых пород заключаются в их серицитизации и хлоритизации, реже в эпидотизации, альбитизации и карбонатизации.

Пьезокварц на месторождениях данного типа представлен горным хрусталем и дымчатым кварцем. Размеры кристаллов самые различные; масса наиболее крупных достигает десятков и даже сотен килограммов.

Хрусталеносные минерализованные трещины представляют собой разновидность хрустальных гнезд, залегающих обособленно от кварцевых жил, непосредственно во вмещающих породах. Они часто приурочены к зальбандам даек кварцевых порфиров, гранит-порфиров, диабазов.

Минерализованные трещины содержат хорошо сформированные кристаллы и друзы горного хрусталя, дымчатого кварца, мориона, цитрина и аметиста. Кристаллы кварца являются главными, они сопровождаются турмалином, рутилом, кальцитом, флюоритом, альбитом, адуляром, цеолитами и др. Характерная особенность минерализованных трещин – формирование как отдельных кристаллов, так и друз горного хрусталя на стенках открытой полости (рис. .).

Метаморфогенно - гидротермальные месторождения горного хрусталя известны в России (Полярный и Южный Урал, Алдан), в Таджикистане, Казахстане, а также в Монголии, Китае и других странах. Классическими и крупнейшими являются месторождения Бразилии. Генезис этих месторождений связывают с тектонометаморфической активизацией.

Метаморфизованные месторождения образуются при метаморфизме первичных кварцевых жил. Наиболее высокие концентрации жил гранулированного кварца связаны с глубоко метаморфизованными комплексами пород в протерозойских складчатых областях – с так называемым гнейсо-

мигматитовым комплексом. Большинство месторождений гранулированного кварца расположено в довольно узкой приконтактной зоне гнейсового ядра и сланцевого обрамления. Под влиянием регионального метаморфизма происходила грануляция жильного кварца и очищение его от примесей. Тела гранулированного кварца формируют крупные жильные поля или линейные зоны, согласные с общим простиранием вмещающих горных пород, но нередко секущих их по падению. Размеры рудных тел изменяются в широких пределах: по простиранию от 5 до 20 метров, а мощностью от нескольких сантиметров до 3 метров. Форма тел обычно простая: линзы и плитообразные жилы.

Гранулированный кварц отличается повышенной химической чистотой и максимальным светопропусканием. В настоящее время – это основной источник получения плавленого кварцевого стекла. Примером являются месторождения Урала (Кыштымское, Маукское, Ларинское, Кузнечихинское и др.).

Россыпные месторождения кристаллов кварца и их обломков распространены довольно широко. Они расположены вблизи от коренного источника и представлены элювиальными и делювиальными типами, в большинстве случаев связанными постепенными переходами. При формировании россыпей происходит их естественное обогащение высококачественными кристаллами, так как они меньше поддаются разрушению.

Промышленные хрусталеносные россыпи широко развиты на восточном склоне Южного Урала, на Украине. Примером зарубежных месторождений являются россыпи Бразилии.

5.4. Месторождения слюд

Слюды представлены многочисленными минералами группы алюмосиликатов, из которых практическое значение имеют мусковит и флогопит,

редко в небольших количествах биотит. В промышленности используются листовая слюда (наиболее ценная) и мелкочешуйчатая слюда (ее получают как отходы при переработке листовой слюды или редко при разработке некоторых месторождений).

Слюды характеризуются способностью расщепляться на тончайшие листки, механической прочностью, химической стойкостью, высоким сопротивлением, и способностью сохранять эти свойства при высоких температурах (до 800°C). Качество слюды помимо этого определяется также размерами кристаллов, отсутствием в них дефектов. Свойства слюды снижаются при наличии природных дефектов ее кристаллов: волнистости и морщинистости, зажимистости, трещиноватости, пятнистости, присутствия газовой-жидких включений.

Большое промышленное значение имеет гидрослюда – вермикулит. Главным промышленным свойством вермикулита является его способность интенсивно вспучиваться при нагревании свыше 200°C с увеличением объема в 8 – 12 раз (предельно в 30 раз). Этот процесс заканчивается при температуре $800\text{--}1000^{\circ}\text{C}$.

Кристаллы слюды, отделенные от горной массы, с размерами пластин не менее 4 см^2 называются забойным сырцом. После очистки забойного сырца от поверхностных загрязнений получают промышленный сырец – кристаллы любой толщины, имеющие полезную площадь не менее 3 см^2 . Выход промышленного сырца от забойного обычно составляет 30 – 50 %. Слюда, которую перед употреблением раскалывают на пластины или подвергают щипке, принято называть листовой. Мелкая слюда как отходы производства листовой слюды называется скрапом.

Главные области применения слюд – электротехника, радиотехника, электроника, телетехника (85 – 90 %). В меньшем количестве (около 10 %) слюда используется в качестве вставок в окна плавильных печей, бытовых

приборов, в очках. Отходы производства – слюдяной скрап и мелкочешуйчатая слюда используются при изготовлении кровельных материалов, обоев, особых сортов бумаги.

Вспученный вермикулит является прекрасным тепло- и звукоизолятором, неплохим огнеупором, химически стоек и обладает малой плотностью. Он широко используется в строительстве как наполнитель звуко- и теплоизоляционных штукатурок и легких бетонов, очистки промышленных вод и улавливания газов, наполнителя картона и бумаги, пластмасс, резины, красок и лаков, удобрений и ядохимикатов. Он добавляется в почву для улучшения ее структуры и аэрационных свойств.

Кондиции по содержанию отличаются для разных типов месторождений, но в среднем для мусковита составляют первые десятки, а для флогопита – десятки и сотни кг/м³.

Около 90 % мирового производства слюды приходится на мусковит и около 10 % на флогопит. Высококачественная слюда производится главным образом в Индии, а также в Бразилии, Аргентине, Малагасийской республике (мусковит), листовой флогопит в Канаде и Малагасийской республике. Крупнейшим производителем скрапа является США (125 тыс. т/год).

В России добыча листовой слюды и скрапа производится в Мамско-Чуйском, Гута-Бирюсинском и Карело-Кольском районах (мусковит), Ковдорском и Алданском месторождениях (флогопит). Основная причина спада производства – развал СССР, являвшегося мировым лидером по производству слюды.

Мировая добыча вермикулита находится на уровне 500 тыс.т. Основные производители – США и ЮАР, на которые приходится более 80 % мировой добычи. Остальная часть приходится на долю Бразилии, Аргентины, Индии, Кении, Египта и других стран.

Дефицит природной листовой слюды привел к промышленному синтезу ее в отдельных странах, в том числе в России.

Генетические типы промышленных месторождений

Единственный промышленный источник листового мусковита - метаморфогенные пегматиты (формация мусковитоносных гранитных пегматитов). Они известны в районах развития докембрийских метаморфических толщ, располагаются вне гранитоидных интрузий. Это наиболее глубинные образования (на глубине 6 – 8 км) в условиях амфиболитовой фации метаморфизма. Пегматитовые тела образуют пегматитовые поля, которые объединяются в провинции, протяженность может достигать первых сотен километров при ширине 10 – 20 км. Морфология пегматитовых тел разнообразна: жилы, линзы, штоки, неправильные ветвящиеся тела согласные и секущие (рис. 5.6).

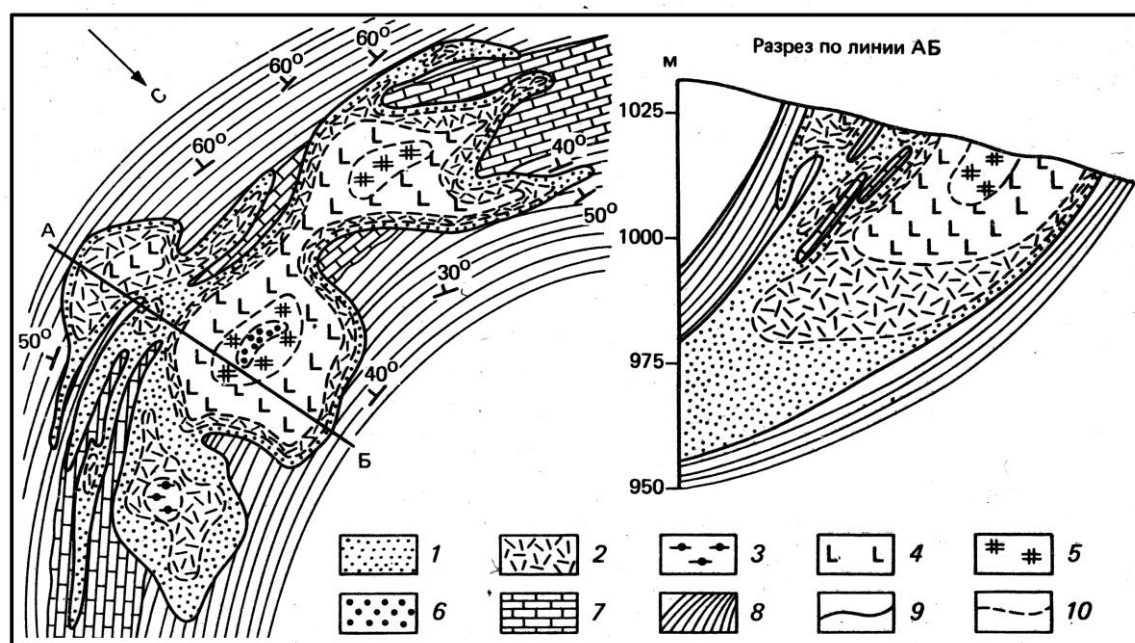


Рис. 5.6. Схема геологического строения пегматитовой жилы месторождения Луговка (по А. Г. Бушуеву и О. В. Казадаевой):

1 — пегматит мелкозернистый гранитовидный; 2 — пегматит крупнозернистый; 3 — блоковый плагиоклаз; 4 — пегматит графической структуры; 5 — блоковый микроклин; 6 — кварцевое ядро; 7 — известково-силикатные

кристаллические породы (скарноиды); 8 — биотитовые гнейсы; 9 — контакты пегматитового тела; 10 — границы минеральных зон.

Размеры жил достигают сотен метров в длину при мощности от метров до первых десятков метров.

Мусковит может быть равномерно рассеян в пегматитах, а может концентрироваться в отдельных зонах. Состав пегматитов относительно прост: преобладают плагиоклазы, кварц, микроклин, мусковит, биотит. В некоторых районах наряду с мусковитом встречаются редкометальные минералы (берилл), в таком случае качество мусковита обычно ухудшается. Мусковитоносность и качество слюды в значительной степени зависит от состава вмещающих пород: наиболее благоприятными являются высокоглиноземистые метаморфические породы (дистеновые, дистен-гранатовые кристаллические сланцы и гнейсы).

Пегматитовые месторождения часто являются комплексными, попутно добываются керамическое сырье (полевои шпат), графический пегматит и кварц (месторождения Мамско-Чуйской и Карело-Кольской провинции в России, Бихар в Индии, где извлекается небольшое количество урана, Бразилии, Зимбабве и других стран). Мусковит-редкометальные месторождения являются объектом комплексной отработки, но качество и запасы мусковита в них низкое.

Основной источник флогопита $\text{KMg}_3(\text{OH},\text{F})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ - **карбонатитовые месторождения**. Они характеризуются большими запасами, высокими содержаниями, но качество слюд более низкое по сравнению метаморфогенными в скарноидах докембрия.

Возраст их — от протерозойского до кайнозойского. Внутреннее строение карбонатитоносных комплексов характеризуется отчетливой concentрической зональностью. Флогопит возникает при воздействии щелочных растворов на магнезиальные породы, которое может происходить на разных

стадиях формирования щелочно-ультраосновных комплексов, в связи с этим выделяется ряд генераций флогопита (рис. 5.7.).

1. Флогопит-нефелин-пироксеновые породы. Флогопитоносные тела мелкие, но с очень высоким содержанием флогопита и крупными кристаллами.

2. Флогопит-пироксеновые породы. Рудные тела представлены крупными жилами и гнездами с магнетитом, апатитом, перовскитом.

3. Флогопит-диопсид-мелилитовые породы. Крупнейшие тела с большими запасами и высокими содержаниями флогопита, но при низком его качестве.

4. Форстерит-диопсид-флогопитовые породы с магнетитом и апатитом.

5. Пироксен-гранатовые жильные тела с флогопитом.

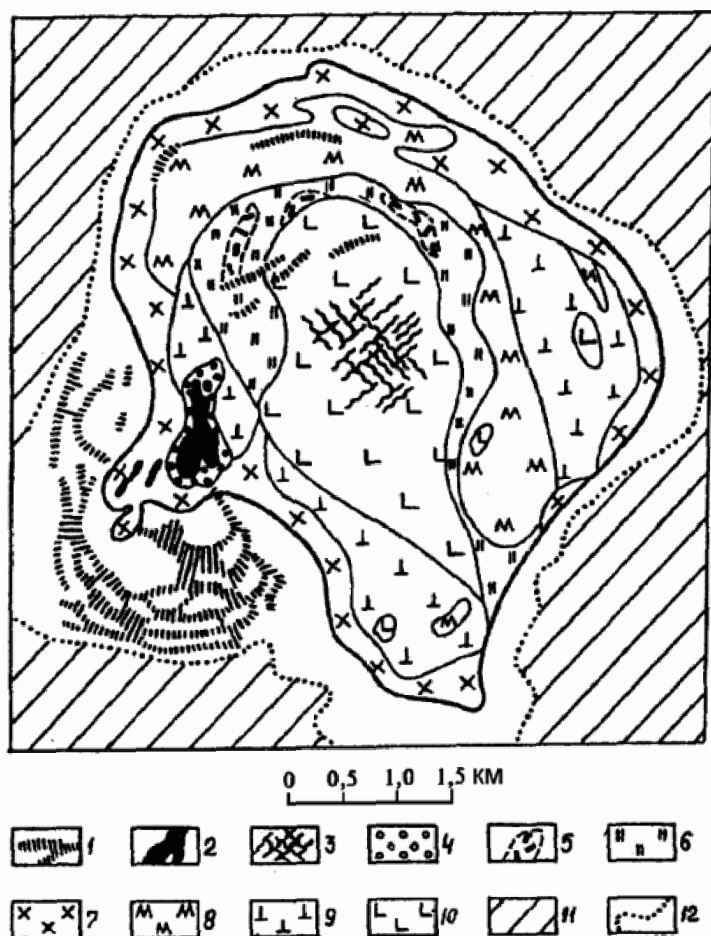


Рис. 5.7. Геологическая схема Ковдорского массива (по В.И. Терновому, Б.В. Афанасьеву, Б.И. Сулимову и др.):

1 – кальцитовые карбонаты; 2 – апатитовые и апатит-магнетитовые руды; 3 – форстерит-магнетитовые руды; 4 – апатит-форстеритовые руды; 5 – флогопитовые метасоматиты; 6 – флогопит-диопсид-форстеритовые породы; 7 – ийолиты, мельтейгиты; 8 – турьяиты, мелилититы; 9 – якупирангиты, пироксениты; 10 – оливиниты; 11 – гнейсы и гнейсо-граниты; 12 – ореол фенитизации.

Наиболее важные по масштабам и качеству сырья скопления флогопита возникают до начала собственно карбонатитовых стадий процесса, после формирования щелочных пород, за счет метасоматического замещения флогопитом гигантозернистых разностей гипербазитов. Размещение флогопитоносных тел определяется двумя факторами: структурным (зоны повышенной проницаемости) и сочетанием магнезиальных и алюмосиликатных пород. Так, основное рудное тело Ковдорского месторождения (Карелия) приурочено к зоне трещиноватости на контакте гипербазитов и щелочных пород (рис.). Выход забойного сырца $400-500 \text{ кг/м}^3$, иногда 1000 кг/м^3 , а промышленного сырца 25-30 % по отношению к забойному сырцу.

Карбонатитовые месторождения являются комплексными: они характеризуются сочетанием металлических компонентов (Fe, Ti, Nb, Zr, TR) и неметаллических (флогопит, апатит, вермикулит, флюорит, карбонатные породы), но эти компоненты формируются на разных стадиях процесса. Однако чем больше стадий и чем они разнообразнее, тем хуже качество флогопита, так как сказывается влияние наложенных факторов.

В России изучено два района флогопитоносных карбонатитов: на севере Сибирской платформы (Гулинское месторождение, Одихинча и др.) и Карело-Кольский (Ковдор и др.). На Ковдорском месторождении (рис.5.8.) помимо флогопита добывают вермикулит, магнетит, апатит и бадделеит.

Вермикулит образуется в результате гипергенной гидратации флогопита и биотита при формировании коры выветривания.

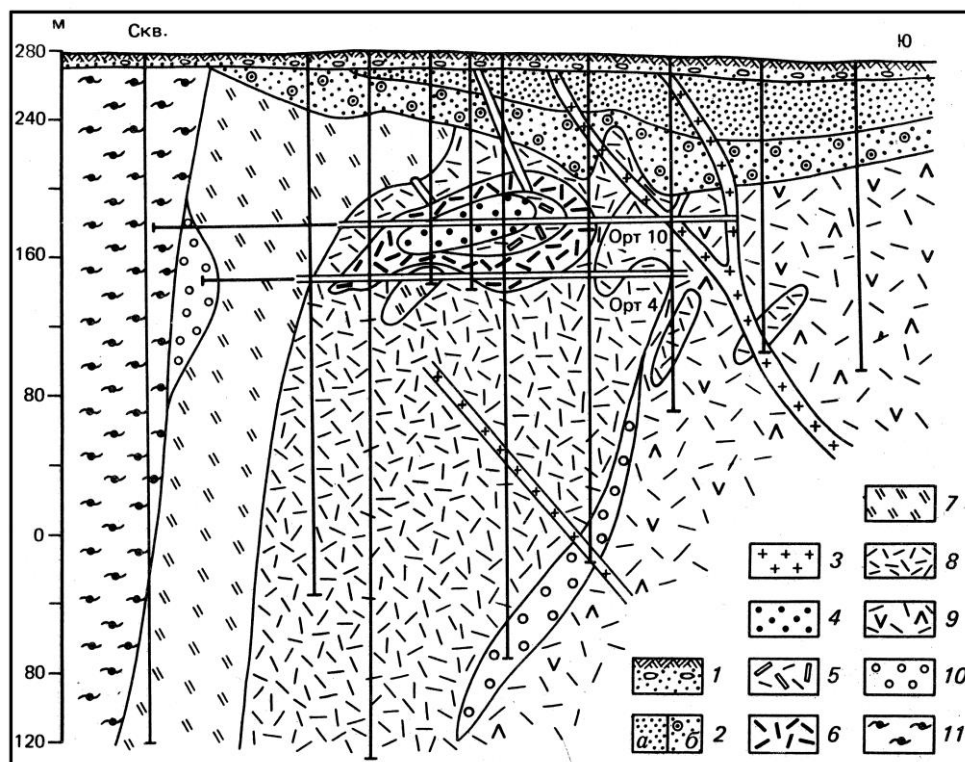


Рис. 5.8. Геологический разрез через Главную флогопитовую залежь Ковдорского месторождения (по Б.В. Афанасьеву и Б.И. Сулимову):

1 — четвертичные отложения; 2 — кора выветривания слюдоносных пород (*а* — вермикулитовая, *б* — гидрофлогопитовая зоны); 3 — дайки полевошпатовых ийолитов; 4 — оливиновые породы с флогопитом, гигантозернистые; 5 — флогопит-оливиновые породы, гигантозернистые; 6 — флогопит-диопсидовые породы, гигантозернистые с оливином; 7 — флогопит-диопсид-оливиновые породы мелко-и среднезернистые; 8 — флогопит-диопсид-оливиновые породы крупнозернистые; 9 — флогопитизированные и диопсидизированные оливиниты; 10 — мелилитовые породы; 11 — гранатовые скарны.

Метаморфогенные месторождения флогопита в скарноидах известны только в докембрийских образованиях. Месторождения приурочены к метаморфическим магнезиальным породам (диопсидовые кристаллические сланцы, кальцифиры, мраморизованные доломиты и др.), переслаивающимся с гнейсами и прорванными гранитоидными интрузиями. Породы метаморфизованы в условиях гранулитовой фации метаморфизма. Флогопитоносные тела образуются позднее, в условиях регрессивной амфиболитовой

фации метаморфизма. Протяженность залежей десятки – первые сотни метров, мощность метры – десятки метров (месторождения Алданской – Куранах и др. и Памирской слюдоносных провинций). Подобные месторождения отличаются от карбонатитовых значительно меньшими запасами и сравнительно низкими содержаниями, но отчасти это компенсируется более высоким качеством флогопита.

Источниками мелкочешуйчатой слюды служат месторождения всех перечисленных типов, где она добывается попутно. Кроме того, мелкочешуйчатые слюды, широко распространенные как породообразующие минералы, могут быть получены и из других источников, в частности из слюдистых сланцев (месторождение Сирус Пайн, США).

Вермикулит образует пластовые, линзовидные, гнездо - и штокообразные залежи. Они залегают в коре выветривания массивов ультраосновных (пироксенитов) и ультраосновных-щелочных пород и развиваются за счет промышленной флогопитовой минерализации (месторождение Ковдор в России, Либби в США, в ЮАР и др.).

5.5. Месторождения асбеста

Термин «асбест» объединяет различные по составу и свойствам минералы, обладающие способностью разделяться на тонкие волокна, которые отличаются высокой прочностью, эластичностью и прядильными свойствами, термостойкостью, кислото- и щелочностойкостью. Наиболее широко распространенный в природе и наиболее важный в промышленном отношении хризотил-асбест является моноклинной волокнистой разновидностью серпентина. В природе хризотил-асбест встречается в агрегатах трех типов: поперечно и косоволокнистых, продольноволокнистых и спутанноволокнистых. Наиболее распространены волокна длиной 2 – 5 мм, более

крупные 20 – 30 мм встречаются редко и исключительно редко волокна имеют размеры более 100 мм.

Важным свойством хризотил-асбеста, определяющим его промышленную ценность, является высокая механическая прочность, низкая электропроводность, высокая термостойкость, хорошие сорбционные свойства. Помимо этих свойств промышленная ценность хризотил-асбеста определяется длиной волокна. Основное количество асбеста (около 60 %) идет на производство всевозможных асбоцементных изделий (трубы, кровельная плитка, шифер) как заполнитель при производстве асфальта и бетона. Хризотил, не содержащий железа, является электроизолятором и используется в промышленности. Лучшие сорта применяются в текстильной промышленности. Наиболее качественное волокно идет на изготовление фильтров. Низкосортный коротковолокнистый асбест используется в черной металлургии как связующий материал при производстве окатышей.

Более 70 % асбестового волокна получают в России и Канаде, на территории которых находятся главнейшие месторождения. Максимальное производство асбеста в мире пришлось на 1977 год (почти 5,5 млн.т. волокна), в том числе в СССР более 2,5 млн.т. и в Канаде – свыше 1,5 млн.т. С начала 80 – х гг. минувшего столетия вследствие экологических причин производство асбеста стало падать (в 1998 году оно составило всего 2 млн.т.). Ведущими продуцентами асбеста являются Россия, Канада, КНР, Бразилия, Зимбабве, Казахстан, ЮАР. Запасы асбеста около 80 млн.т., доля хризотил-асбеста превышает 95 %.

Генетические типы промышленных месторождений

Месторождения хризотил-асбеста *метаморфогенно - гидротермальные и скарновые*. Наиболее крупные промышленные образования принадлежат к первому генетическому типу, в составе которого по строению жил

и их взаимному расположению выделяются три подтипа: баженовский, лабинский и карачаевский.

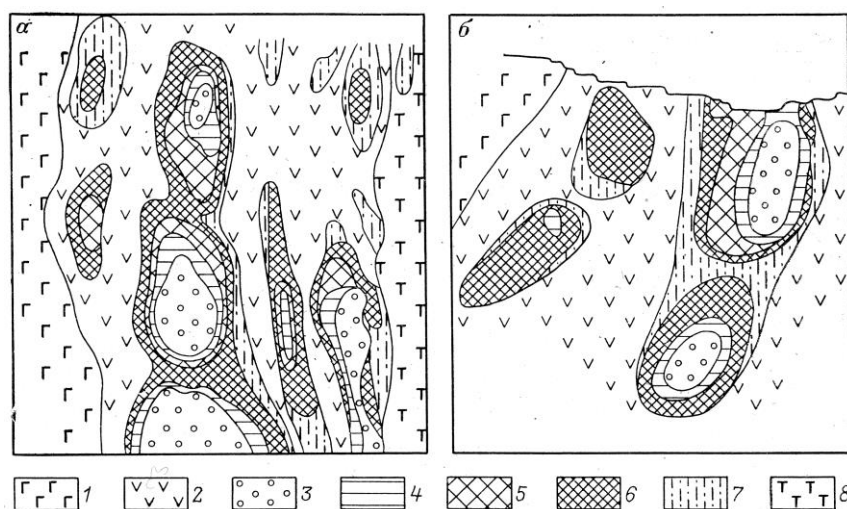


Рис. 5.9. Схематическая геологическая карта (а) и поперечный разрез (б) одного из участков Баженовского месторождения хризотил-асбеста. По В. Ф. Дыбкову и М. М. Трапезниковой:

1 — габбро; 2 — серпентиниты; 3 — перидотиты; 4 — перидотиты с отороченными жилами хризотил-асбеста; 5 — перидотиты и серпентиниты с асбестоносностью типа крупной сетки; 6 — серпентиниты с асбестоносностью типа мелкой сетки и «мелкопрожила»; 7 — серпентиниты с просечками асбеста; 8 — оталькованные серпентиниты.

Месторождения баженовского подтипа представляют собой крупные (до 600 м) крутопадающие тела, вытянутые на значительные (до 4500 м) расстояния; они характеризуются концентрически-зональным строением, обусловленным различными типами асбестоносных просечек, мелких прожилков, простых и сложных отороченных жил (рис. 5.9. 5.10.).

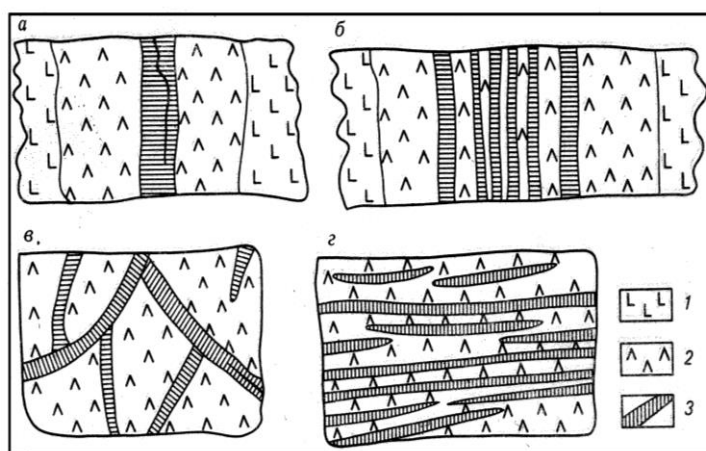


Рис. 5.10. Типы жилкования хризотил-асбеста (текстуры): а — простая отороченная жила, в центре жилы видна просечка; б — сложная отороченная жила; в — руда типа мелкой сетки; г — руда мелкопрожилковая. 1 — гарцбургит, 2 — серпентинит, 3 — жилки хризотил-асбеста.

Простые отороченные жилы сложены чистым поперечно волокнистым асбестом. По обеим сторонам жил располагаются полосы (оторочки) массивного серпентинита, затем полосы серпентинизированного ультрамафита и, наконец, они сменяются слабо серпентинизированным перидотитом или дунитом. Простые жилы содержат асбестовое волокно наибольшей длины (до 60 мм). Сложные отороченные жилы представлены сериями параллельных жилок асбеста, разделенных промежутками массивного серпентинита. Длина волокна здесь меньше, но общее содержание асбеста достигает 10 %. Зоны развития жил так называемой «крупной сетки» состоят из серии коротких, беспорядочно ориентированных жилок асбеста, в междужильных блоках сохранились небольшие участки гипербазитов. Далее к периферии залежей наблюдается «мелкая сетка» в нацело серпентинизированных участках основной породы. Среди серпентинитов кроме этого встречается асбестоносность типа «мелкопрожил», промышленного значения она не имеет.

Степень асбестоносности гипербазитов зависит от их петрографических особенностей, а также характера дорудной серпентинизации. Установлено, что максимально асбестоносны гарцбургиты, тогда как аподунитовые серпентиниты, как правило, не несут промышленного оруденения.

Образование хризотил-асбеста в серпентинизированных массивах ультрамафитов связано с гидротермальными растворами, природа которых является дискуссионной. По мнению одних исследователей, процессы серпентинизации и асбестообразования обусловлены воздействием гидротермальных растворов собственно ультраосновной магмы, т.е. аутометаморфическими. Другие полагают, что серпентинизация и сопровождающая ее хризотил-асбестовая минерализация являются продуктами более молодых гидротерм, источником которых являются гранитоидные интрузии, наложившиеся на уже частично серпентинизированные тела ультрамафитов.

К баженовскому подтипу относятся все крупные месторождения Урала (Баженовское, Кiemбаевское), известны в Казахстане (Джетыгаринское), многие месторождения Сибири (Молодежное, Саянское и др.), а также месторождения Канады (Джеффри, Клинтон-Крик и др.), Зимбабве (Шабани) и других стран.

Рудные тела лабинского подтипа представлены простыми или сложными жилами поперечно волокнистого асбеста, прослеживающимися на десятки и сотни метров по простиранию, мощностью от нескольких сантиметров до 3 – 4 метров. Волокно относится к высококачественным разновидностям, однако ввиду малой мощности на их долю приходится лишь около 1 % мировых запасов и 2 % мирового производства. Примером является Лабинское месторождение на Северном Кавказе.

Особенностью месторождений карачаевского подтипа является продольно волокнистое жилкование по плоскостям трещин скольжения в серпентинитах. Качество асбеста непостоянное, при этом преобладают низкие содержания. Представителем этого подтипа является Карачаевское месторождение (Северный Кавказ).

Скарновые месторождения. Контактново-метасоматические месторождения связаны с зонами серпентинизации в доломитовых известняках и доломитах. Они встречаются редко и по запасам невелики. Для них характерны единичные жилы (Аспогашское месторождение в России, есть в США и Китае). Все месторождения локализованы в магнезиальных карбонатных породах близ контактов с основными или кислыми изверженными породами. Карбонатные породы близ контакта перекристаллизованы и содержат типичные минералы скарнов: форстерит, диопсид, тремолит, гранат и др. Асбест обычно поперечно-волокнистый, его достоинством является исключительно низкая железистость, что предопределяет его использование в электротехнической промышленности.

5.6. Месторождения графита

Углерод в самородном виде образует две полиморфные разновидности – графит и алмаз. В природе графит встречается в виде чешуек или их листоватых агрегатов (кристаллический чешуйчатый графит), плотных зернистых агрегатов (кристаллический кусковой графит), либо тонкодисперсных скрытокристаллических масс (аморфный графит). Среди чешуйчатых графитов выделяют крупночешуйчатый (размеры кристаллов 0,1 – 5,0 мм и более) и мелкочешуйчатый (0,001 – 0,1 мм). В кусковом графите размер кристаллов тот же, но они не ориентированы, что затрудняет расщепление агрегата. Величина зерен в аморфном графите менее 0,001 мм. В промышленности все шире используется искусственный (коксовый, доменный, ретортный) графит, получаемый из антрацита, нефтяного кокса, из отходов доменного производства. Искусственный графит по качеству приблизительно соответствует чешуйчатому и плотнокристаллическому, отличаясь большей чистотой и меньшей кристалличностью. Природные разновидности графита не бывают совершенно чистыми; они содержат примеси минералов-спутников, газов, а также непревращенный в графит углерод.

Использование графита обусловлено рядом уникальных свойств: высокой огнеупорностью (температура плавления $3800 - 3900^{\circ} \text{C}$), электро-теплопроводностью, антифрикционными свойствами, мягкостью, химической инертностью (растворяется лишь в расплавленных силикатах или металлах, образуя карбиды), непрозрачностью, черным цветом и укывистостью - способностью покрывать тонким слоем металлические поверхности.

Главными потребителями графита являются электротехника (скользящие электроконтакты и электроды), металлургия (графитовые и графиткерамические тигли для плавки металлов, противопригарные краски и пасты), машиностроение (подшипники, втулки и др.), ядерная техника и

атомные электростанции (детали ядерных реакторов и ракетных двигателей, графитовые замедлители нейтронов), лакокрасочная промышленность и оргтехника (краски, туши, карандаши, копировальная бумага).

Графит является основным сырьем для синтеза технических алмазов, находит широкое применение в порошковой металлургии и в производстве полупроводников.

Требования к качеству сырья различные в разных отраслях промышленности. Общими лимитирующими показателями являются зольность, влажность, содержание летучих, иногда Fe, S, Cu, P и других элементов, а также величина pH водной вытяжки. Руды чешуйчатого графита содержат от 2 до 15 % минерала, они легко обогащаются флотацией, в концентрате содержание достигает 60 % и более. В плотнокристаллических рудах доля графита составляет 35-40 % и более; без обогащения используется руда, в которой эта величина поднимается до 60-80 %. Аморфный графит – труднообогатимая руда, без обогащения используется руда с содержанием углерода около 70 %.

Производство графита в мире составило около 950 тыс. т. в год. Наиболее крупными производителями являются КНР (около 40-45 % всего производимого в мире графитового концентрата), Корея, Индия, Бразилия, Мексика, Канада, Чехия, Украина, Россия. Преобладающая часть запасов кристаллического графита сосредоточена в КНР, на Мадагаскаре, в Зимбабве, Бразилии и странах СНГ. Свыше 90 % запасов скрытокристаллического графита приходится на Мексику, КНР, Россию и Республику Корея.

Мировое производство синтетического графита превышает 1,5 млн. т. и осуществляется в ряде стран: в США, Канаде, Японии, странах Западной Европы.

Генетические типы промышленных месторождений. Генетически месторождения графита разнообразны: магматические, пегматитовые, скарно-

вые, гидротермальные, метаморфические. Последние являются важнейшим промышленным типом. Механизм формирования графитовых руд в магматических, пегматитовых, скарновых и гидротермальных процессах недостаточно ясен.

Магматические месторождения связаны с интрузивными и эффузивными породами – от кислых до щелочных и ультраосновных. Плотнокристаллический графит образует неравномерные скопления в штоках, гнездах, жилах, содержание его достигает 85 %. Реже – это скопления чешуйчатого графита. Известны небольшие месторождения, приуроченные к гранитам (Черемшанское и Миасское на Урале), габбро, базальтам (Германия).

Пегматитовые месторождения представлены неправильными жильными телами кварц-графитового состава в графитоносных вмещающих породах. Крупночешуйчатый графит развит в зальбандах жил. Содержание графита невысокое (3 – 5 %), руды вкрапленные. Промышленное значение незначительное. Месторождения известны в России, Бразилии, Индии и др.

Скарновые месторождения приурочены к зонам контактов глубинных изверженных пород с известняками. Графит ассоциирует с гранатами, диопсидом, волластонитом, скаполитом.

Примером является Ботогольское месторождение (Восточные Саяны). Месторождение разрабатывается более 100 лет. Многочисленные (около 30) промышленные залежи массивного плотнокристаллического графита локализованы в северной части массива нефелиновых сиенитов, иногда приурочены к контакту с ксенолитами известняков. Руды массивные, иногда встречаются сфероидальные, радиально-лучистые, почковидные и древовидные агрегаты. Форма – неправильные гнезда, жилообразные тела протяженностью в сотни метров при мощности в десятки метров. Содержание графита от 10 до 20 %, в отдельных телах до 50 %. Его богатые

массивные руды полностью отработаны, оставшиеся бедные руды легко обогатимы и могут добываться открытым способом.

Гидротермальные месторождения формируются путем кристаллизации графита в тектонических трещинах из циркулировавших по ним высокотемпературных растворов, содержащих оксиды углерода. На месторождениях отмечаются линейные штокверковые зоны, образованные сериями секущих и согласных неправильных жил с раздувами и пережимами, часто ветвящихся. Мощность от нескольких сантиметров до метров, протяженность достигает сотен метров. Жилы часто зональные: у зальбандов сложены крупночешуйчатым, а в центре – плотнокристаллическим графитом. Вмещающие породы представлены гнейсами и кристаллическими сланцами. Месторождения известны в Индии, Канаде, США, Великобритании, Южной Корее.

Метаморфические месторождения являются основным промышленным типом месторождений графита. Они образовались за счет рассеянного или концентрированного (угли, горючие сланцы) углеродного вещества, подвергшегося региональному или контактово-термальному метаморфизму.

Регионально-метаморфические месторождения графитоносных гнейсов заключают основную часть высококачественных чешуйчатых графитовых руд. Они приурочены к докембрийским метаморфическим толщам: гнейсам, кварцитам и кристаллическим сланцам. Залежи графита представляют собой неправильные пласты и линзы вкрапленных руд с содержанием графита 2 – 30 %, редко до 60 %. Руды легкообогатимые. Месторождения характеризуются высоким качеством руд, концентрированностью запасов. Типичным примером является Завальевское (УКЩ), Сухоярское месторождение (ВКМ).

Сухоярское месторождение находится на юге Воронежской области, в пределах юго-восточной части Воронежского кристаллического массива.

Месторождение расположено в синклинальной структуре размером 10х15 км, сложенной гнейсово-мigmatитовыми образованиями воронцовской серии раннего протерозоя. Разведанный участок находится в ядре синклинальной складки более высокого порядка, имеющей СВ простирание, протяженность 3-4 км и размах крыльев 2-2.5 км. Выходы графитоносных пород на поверхности докембрия наблюдаются в крыльях этой складки.

В северо-западном крыле шириной 300-500 м породы падают под углом $60-70^0$, в южном (шириной 300-700 м) - под углом $25-40^0$ и осложнены более мелкими складками. Средняя мощность вскрыши 134 м.

Графитовые гнейсы образуют 3 самостоятельных пласта мощностью до 20-30 м. в юго-восточном крыле и до 650 м - в северо-западном. Мощность кондиционных рудных тел - 20-80 м, среднее содержание графита 4.7%. Возраст графитовых гнейсов – ранний протерозой.

Средний минералогический состав продуктивных горизонтов: плагиоклаз (30-40%), кварц (20-30%), биотит (7-10%), мусковит (2-10%), графит (2-7%), пирит, пирротин (5-7%). Количество графита в породах 2-10% (иногда - до 20-40%) объема. Графит явно кристаллический, чешуйчатый, размер чешуй от 0.01-0.4 до 1 мм. Характерна тесная ассоциация графита с сульфидами.

По запасам Сухоярское месторождение крупное. Запасы по C_2 , подсчитанные до горизонта - 100 м, при бортовом содержании 2.3% составляют более 11 млн. т. Ресурсы по P_1 до горизонта - 150 м – более 6 млн. т.

Контактово - метаморфические апокаменноугольные месторождения служат главным источником скрытокристаллического графита. Они связаны с угленосными отложениями, прорванными телами магматических пород, вблизи которых пласты углей подвергаются контактово-термальному метаморфизму, вызывающему графитизацию углей.

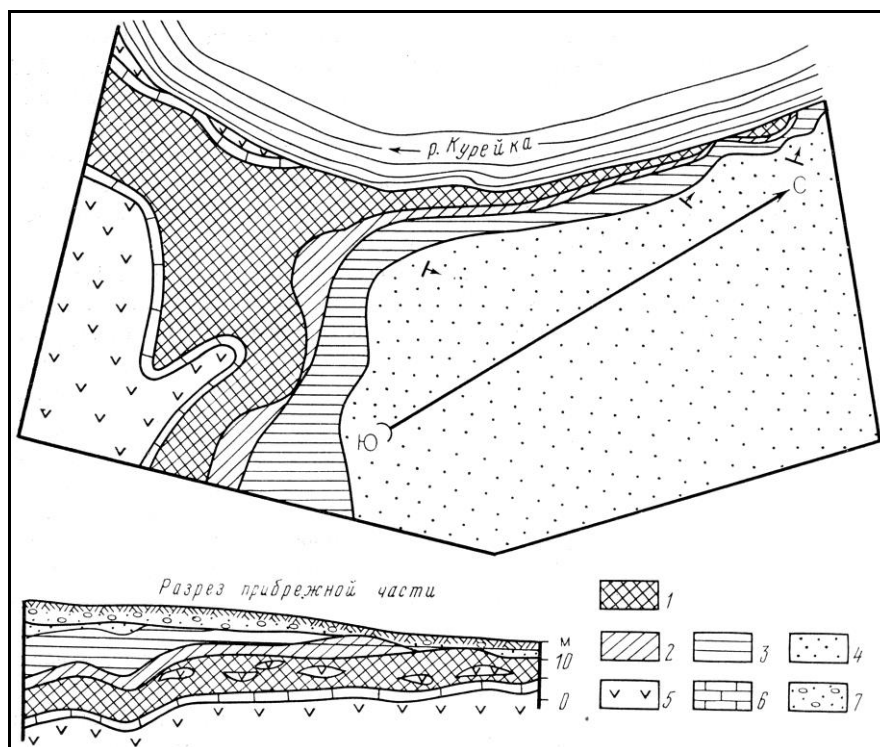


Рис. 5.11. Геологическая карта Курейского месторождения графита (по материалам С. В. Обручева, В. П. Солоненко и др.):

1 — графит; 2 — графитовые сланцы; 3 — кварцитовидные песчаники и сланцы; 4 — серые песчаники; 5 — траппы; 6 — мраморовидный кальцит; 7 — террасовые отложения

Графитовые руды сохраняют внешний вид углей, содержат включения неографиченных угольных компонентов, отпечатков растений. Примером таких месторождений является крупнейшая в мире Тунгусская графитоносная провинция в России (месторождения Ногинское, Курейское и другие) (рис. 5.11.).

Глава 6. Генетические типы месторождений химического и агрохимического сырья

6.1. Месторождения апатита, фосфоритов

Среднее содержание фосфора в земной коре менее 0,1 % (или 0,25 % P_2O_5). Наиболее высокие концентрации P_2O_5 отмечаются в магматических

щелочных и основных породах. Хотя общее число минералов фосфора превышает 200, свыше 95 % его в земной коре связано с апатитом, который встречается в большинстве изверженных пород в качестве акцессорного минерала.

Промышленное значение имеют два главных вида минерального сырья – апатиты и фосфориты.

Апатиты $\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ в зависимости от содержания анионов различаются фтор-, хлор-, и гидроксил-apatит, чаще встречается фтор-apatит. В качестве примесей могут присутствовать Sr, Ba, Mg, Mn, TR и др. Апатит отмечается во всех интрузивных, многих метаморфогенных, осадочных, реже эффузивных породах. Часто ассоциирует с нефелином, эгиринном, ильменитом, сфеном. Качество определяется содержанием фосфора в пересчете на P_2O_5 .

Фосфориты – осадочные породы, существенную часть которых составляют фосфаты и многочисленные включения других минералов (кварца, глауконита, кальцита, глинистых минералов и др.). Часто наблюдается содержание элементов-примесей: U, TR, Sr, реже V, Ti, Zr и др.

Месторождения апатита связаны с изверженными и метаморфическими породами, образуясь в результате эндогенных процессов, в то время как месторождения фосфоритов – с осадочными породами, формируясь в результате экзогенных процессов.

Качество фосфоритов оценивается по содержанию P_2O_5 и вредных примесей MgO, Fe_2O_3 , CO_2 , Al_2O_3 и др. По минеральному составу и текстурно-структурным признакам фосфориты разделяют на природные литологические типы: микрозернистые, зернистые, тонкозернистые, оолитовозернистые, желваковистые (конкреционные), галечниковые и конгломератовые, ракушечные, рыхлые и каменистые.

Резко подчиненную роль в общем балансе фосфатного сырья имеют крупные скопления гуано – продукты выделения морских птиц, приуроченные главным образом к островам и прибрежным районам низких широт. В результате их разложения содержание фосфата возрастает. Современное гуано содержит 10 – 12 % P_2O_5 , выщелоченное – 20-32 %.

Области использования апатитовых и фосфоритовых руд одинаковы.

Подавляющая масса фосфатного сырья (более 95 %) используется для производства фосфорных и комбинированных минеральных удобрений. В результате химической переработки получают простой и двойной суперфосфат, аммофос, нитрофос и нитрофоску. Удобрения указанных видов получают переработкой сырья, содержащего около 28 % P_2O_5 и ограниченного количества вредных примесей. Принципиально иная технология производства так называемых термофосфатов. Они содержат 20 – 34 % усвояемого P_2O_5 и для их производства могут использоваться руды с содержанием P_2O_5 24 – 27 %. Из фосфоритов при измельчении получают фосфоритовую муку. Она употребляется как удобрение для кислых почв.

Соединения фосфора используют и в других отраслях промышленности: для смягчения воды, в качестве моющих веществ, для пропитки деревянных изделий, в спичечном производстве, пиротехнике, органическом синтезе различных лекарственных препаратов.

Минимальное содержание P_2O_5 в апатитовых рудах составляет 4 – 5 %. Апатитовые руды хорошо обогащаются с получением концентрата, содержащего 39,4 % P_2O_5 . Фосфоритовые руды относятся к промышленным, если содержание P_2O_5 в них не менее 3 % при условии их легкой обогатимости.

Спрос на фосфатное сырье возрастает быстрыми темпами. Разведанные запасы составляют 100 млрд.т. В мировом балансе добываемого фосфатного сырья основная роль принадлежит фосфоритовым рудам (90 %); в

нашей стране, наоборот, благодаря наличию уникальных месторождений Хибинского массива доля апатитовых руд в составе фосфатного сырья является доминирующей. Большая часть общих мировых запасов апатитовых руд сосредоточена в России, в значительном количестве они имеются также в ЮАР, Бразилии, Финляндии, Канаде, Уганде, Габоне, Замбии. Россия по ресурсам фосфатного сырья занимает одно из первых мест в мире, они составляют 12,8 млрд.т., из которых значительная часть промышленных запасов приходится на апатитовые руды. Основные месторождения апатитовых руд размещаются на Кольском полуострове и в Бурятии.

Наиболее крупные общие запасы фосфоритовых руд сосредоточены в Марокко, США, Перу, Казахстане, Монголии, Китае, Египте, Мексике, Ираке, Иордании, Сирии, Тунисе и Алжире. Добыча фосфоритов в зарубежных странах достигла 120 млн.т. Месторождения фосфоритов в России находятся в Восточно-Европейской платформе. Крупнейшие месторождения фосфоритов известны в Казахстане (хр. Каратау).

Генетические типы промышленных месторождений апатита

Среди промышленных месторождений апатита выделяется ряд генетических типов: позднемагматические, карбонатитовые, скарновые, гидротермальные, метаморфогенные, месторождения выветривания. В России наибольшую промышленную ценность представляют магматические и карбонатитовые месторождения.

По минеральному составу апатитовые руды подразделяются на силикатно-оксидные, силикатные, карбонатно-силикатные, карбонатные и гидросиликатно-гидрооксидные. Наиболее легко обогащаются силикатные (apatит-нефелиновые) руды. Наиболее трудно – карбонатные и гидросиликатно-гидрооксидные. В легкообогатимых рудах извлечение P_2O_5 в апатитовый концентрат превышает 90 %, в труднообогатимых – составляет менее 70 %.

Позднемагматические месторождения. Среди этих месторождений выделяют три формации: апатитовую, апатит-нефелино-вую, апатит-магнетитовую.

Месторождения апатитовой формации связаны с габбро-сиенитовыми интрузиями, которые приурочены к участкам пересечения глубинных разломов. Это сложные многофазные тела с бедными апатитовыми рудами (содержание P_2O_5 2 – 4 %), однако руды хорошо обогащаются, и в концентрате содержание P_2O_5 35 %, запасы руд значительные. Примером является Ошурковское месторождение в Бурятии.

Месторождения апатит-нефелиновой формации являются главным геолого-промышленным типом месторождений, с которым связана подавляющая часть запасов и добычи этого сырья. Месторождения приурочены к крупным многофазным концентрически-зональным интрузиям апатитовых нефелиновых сиенитов и ийолит-уртитов. Это месторождения Хибинского (рис. 6.1.) и Ловозерского (рис. 3.7.) массивов. За рубежом массивы нефелиновых сиенитов известны в Гренландии, Бразилии, Канаде. Массивы представляют интрузии, развитые на щитах и краевых зонах платформ. Их площади варьируют от первых десятков до первых тысяч квадратных километров. Рудные тела представляют собой протяженные (несколько километров) пластовые и линзовидные залежи, осложненные раздувами и пережимами, с закономерным пространственным распределением различных типов руд, либо менее крупные, кулисообразно расположенные залежи сложной формы, объединяющиеся в зоны с широким развитием брекчиевых руд. Залежи и зоны выполняют центриклинальные конические разломы, залегая согласно с вмещающими ийолит-уртитами. Промышленные руды месторождений Хибинского массива (рис. 6.1.) составляют $\frac{3}{4}$ запасов России при среднем содержании 14-18 % P_2O_5 . Руды хорошо обогащаются, в концентрате содержание P_2O_5 39,4 %.

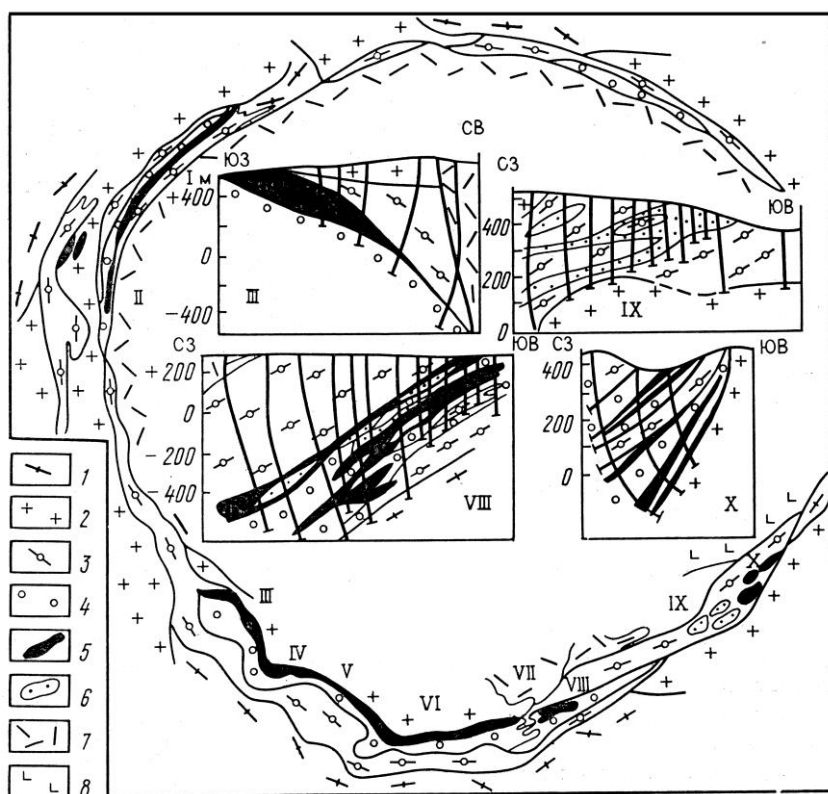


Рис. 6.1. Геологическая схема продуктивного ийолит-уртитового комплекса Хибинского массива и типичные разрезы месторождений апатит-нефелиновых руд (по материалам Хибиногорской ГРП):

1 — хибиниты трахитоидные; 2 — рихсорриты массивные; 3 — уртиты, ийолиты, ювиты, малиньбиты, мельтейгиты, луавриты трахитоидные; 4 — уртиты массивные,

пегматоидные, неравномерно- и среднезернистые; 5—6 — апатит-нефелиновые руды: 5 — массивные, пятнистые, пятнисто-полосчатые, полосчатые, линзовидно-полосчатые, сетчатые, блоковые, 6 — брекчиевые; 7 — луавриты массивные; 8 — фойяиты трахитоидные. Месторождения: I — Партомчорр, II — Куэдьпор, III — Кукисвумчорр, IV — Юкспор, V — Апатитовый цирк, VI — Плато Расвумчорр, VII — Эвеслогчорр, VIII — Коашва, IX — Ньоркпахк, X — Олений ручей.

Характерны повышенные содержания P, F, Cl, Ti, Zr, Nb, Sr, TR. Руды сложены преимущественно апатитом, нефелином, эгирином, менее распространены сфен и титаномagnetит. Текстуры сетчатые, линзовидно-полосчатые, пятнистые, пятнисто-полосчатые, встречаются также сплошные апатитовые руды. Промышленное значение кроме апатита имеет нефелин, практический интерес могут представить сфен и редкие земли.

Месторождения апатит-магнетитовой формации связаны с габбро-сиенитами, габбро-пироксенит-дунитами (месторождение Кирунаваара и

другие в Северной Швеции). Руды комплексные: апатит ассоциирует с магнетитом. Промышленные руды содержат 58-70 % железа и 0,01-3,6 % P_2O_5 .

Карбонатитовые месторождения приурочены к массивам центрального типа ультраосновных щелочных пород, штокам и дайкам карбонатитов. Размещение массивов контролируется зонами глубинных разломов, чаще приуроченных к краевым частям платформ. Руды часто комплексные: апатит-магнетитовые, апатит-флогопитовые, апатит-редкоземельные. В России на долю этих месторождений приходится 11,8 % запасов P_2O_5 (по апатитовым рудам). Содержание P_2O_5 в среднем составляет около 7 %, иногда достигает 20 %. Наиболее изученными месторождениями этого типа являются Ковдорское на Кольском полуострове, Белая Зима, Большое Саянское, Томтор в Сибири, Палабора в ЮАР, Сукулу в Уганде. Сокли в Финляндии и др.

Апатитоносные тела разнообразны по форме и условиям залегания. Это кольцевые и конические дайки, линзо-, серповидные и линейно вытянутые крутопадающие тела, штоки и др. Эти тела выполняют кольцевые, конические, дуговидные, радиальные и линейные разломы и трещины в составе карбонатитовых комплексов. Запасы P_2O_5 первые сотни миллионов тонн. Полезными компонентами, кроме апатита, являются флогопит, нефелин, редкометальные минералы (бадделейт, пироксор и др.), магнетит, фторкарбонаты редких земель.

Месторождения выветривания связаны с корами выветривания карбонатитовых массивов. Плащеобразные залежи гипергенных апатитовых руд представлены лимонит-франколитовыми рудами, залегающими в нижней части коры выветривания на частично карстообразной поверхности коры. Руды рыхлые, глинистые и каменистые. В составе руд: апатит, франколит (CaF_2 -содержащий апатит), вермикулит, глинистые минералы, редкометальные минералы. Среднее содержание P_2O_5 около 16 %. Подобные ме-

сторождения известны на Ковдорском, Томпторском, Нижнесаянском, Белозиминском месторождениях в России (рис.6.2.).

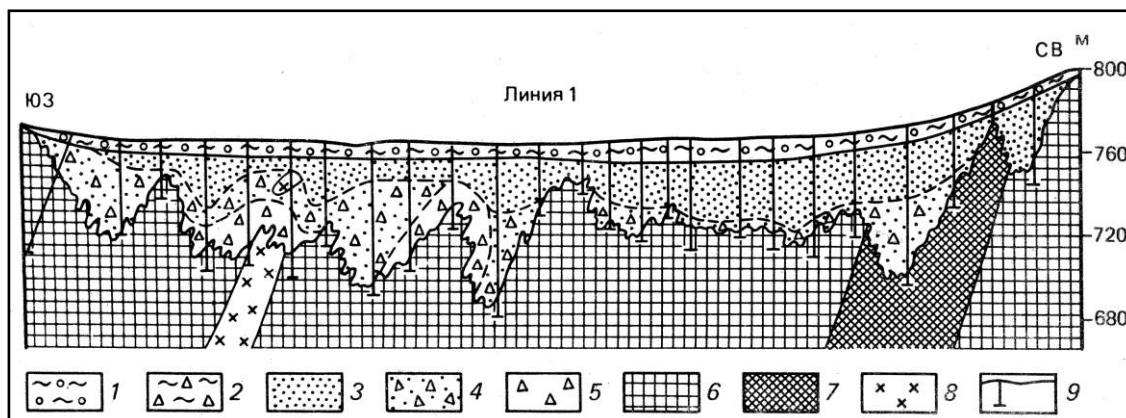


Рис. 6.2. Геологический разрез апатитоносной коры выветривания Белозиминского массива (по В. Г. Кузнецову): 1 — аллювий; 2 — делювий; 3 — карбонатная охра; 4 — обохренная «сыпучка»; 5 — необохренная сыпучка; 6 — карбонаты кальцитовые; 7 — карбонаты анкеритовые; 8 — ийолиты; 9 — буровые скважины.

Генетические типы промышленных месторождений фосфоритов

Фосфориты являются экзогенными образованиями — осадочными и выветривания, последние играют резко подчиненную роль. Среди осадочных месторождений различают биохимические — морские (современные и ископаемые) и континентальные.

Палеогеографические реконструкции показывают, что крупнейшие скопления происходили на океанических шельфах в условиях мощного апвеллинга, что характерно для экваториального пояса, ограниченного на севере и юге широтами почти 50° .

В мировом балансе запасов фосфоритов резко преобладают зернистые руды (свыше 60 %). Это месторождения Североафриканской провинции. Доля микрозернистых руд составляет 30 % (месторождения — Саянское в России, Каратауское в Казахстане, Фосфория в США и др.). На желваковые фосфориты приходится 7 % мировых запасов (месторождения Восточно-

Европейской платформы: Вятско-Камское, Егорьевское и др.). Месторождения и проявления желваковых фосфоритов обнаружены на территории Черноземья, но они числятся в госрезерве. Наиболее перспективной считается Щигровская группа месторождений. Центральное месторождение в Тамбовской области, вероятно, будет вовлечено в разработку после освоения россыпей ильменита, залегающих во вскрышной толще.

Осадочные биохимические месторождения наиболее важны в промышленном отношении. Они возникают в результате накопления богатых фосфором раковин, костей рыб, выпадения фосфатов из растворов, их диагенетического и механического перераспределения в виде конкреций. Ископаемые месторождения подразделяются на геосинклинальные и платформенные.

Геосинклинальные фосфоритовые месторождения (хр. Каратау – рис. 6.3., Скалистых гор – США) – характеризуются линейной вытянутостью, прослеживаются на несколько сотен километров при ширине в десятки километров. В пределах месторождения развита кремнисто-карбонатная фосфоритовая формация мощностью до 100 метров с мелкозернистыми рудами, слагающими до 10 пластов суммарной мощностью до 40 метров. Фосфоритовые формации подвержены интенсивным деформациям – как складчатым, так и разрывным, нередко прорваны магматическими породами, на контакте с которыми фосфориты метаморфизованы и переходят в апатит.

Фосфоритовые руды богатые: содержание P_2O_5 до 36 %. Для руд характерно присутствие Sr, V, TR.

Руды сложены в основном фосфатами, кварцем, халцедоном, доломитом, гидрослюдой. В местах размыва микрозернистые руды сменяются фосфоритовыми конгломератами и гравелитами, состоящими из галек фосфоритов и вмещающих пород. Основная масса фосфоритов представлена фторкарбонатапатитом, в котором часть фосфора замещена углеродом.

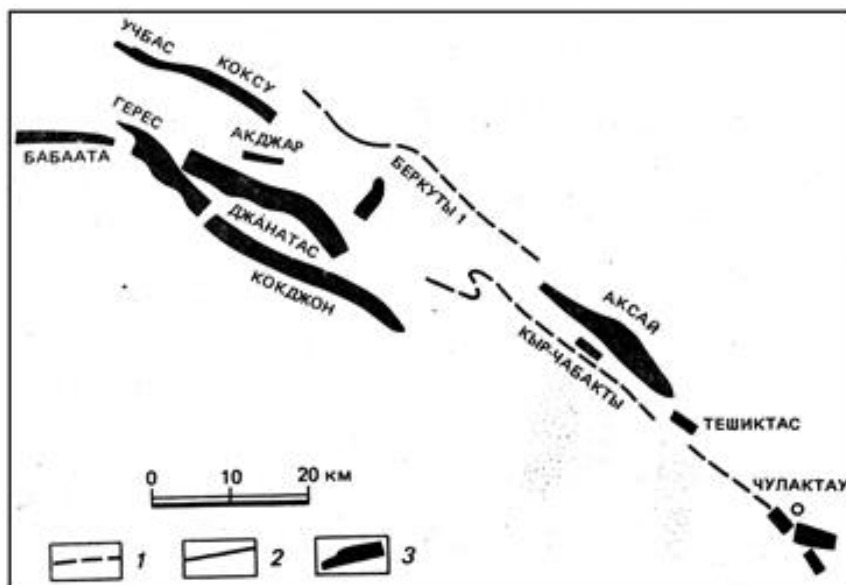


Рис. 6.3. Схема размещения выходов фосфоритового пласта в хр. Каратау (по Г. И. Бушинскому). Мощность фосфоритового пласта с содержанием P_2O_5 выше 25 % (м): I - до I; 2 — 1-5; 3 - более 5

Платформенные месторождения представлены изометричными или вытянутыми на сотни и тысячи квадратных километров залежами. Фосфориты входят в состав маломощных органогенно-терригенных формаций. В разрезе формаций 1 – 3 рабочих пласта фосфоритов суммарной мощностью 1 – 4 метра, сложенных ракушечными или желваковыми типами руд. Основные породообразующие минералы фосфоритов – фосфаты, глауконит, кварц, кальцит, сидерит, глинистые минералы. В рудах встречаются многочисленные фораминиферы, радиолярии, спикули губок и другая фауна. Фосфориты и вмещающие породы залегают практически горизонтально. Содержание P_2O_5 3–18 %, руды нуждаются в обогащении.

В мировом балансе фосфатного сырья такие месторождения имеют небольшое значение (около 3,5 %). Для России их роль достаточно велика как по запасам (около 25 %), так и по добыче (10 – 11%). Основные запасы сосредоточены в Восточно-Европейской провинции, в состав которой вхо-

дят месторождения Вятско-Камское, Егорьевское и др. Месторождения желваковых фосфоритов обнаружены в Тунгусско-Вилуйском бассейне, а также в Бельгии, Франции, Великобритании.

Месторождения переходные от платформенных к геосинклинальным широко распространены и образуют крупнейшие бассейны в Северной Африке – в Марокко, Алжире, Тунисе и др.

Осадочные механические месторождения образуются в процессе морской абразии ранее сформированных фосфоритов различных генетических типов. Они приурочены к терригенно-глауконитовым формациям и представлены галечниковыми и конгломератовыми типами руд. Примером являются месторождения полуострова Флорида (США). На долю галечниковых фосфоритов приходится около 1 % мировых запасов фосфатного сырья, но отдельные месторождения имеют важное промышленное значение.

Месторождения выветривания образуются при физическом и химическом выветривании фосфатсодержащих осадочных и магматических пород. Среди них выделяются остаточные и остаточно-инфильтрационные.

Остаточные месторождения формируются при накоплении продуктов выветривания на месте разрушения фосфатсодержащих пород. При разрушении, растворении и выносе нефосфатных минералов происходит вторичное обогащение фосфоритов с образованием рыхлых разновидностей.

Остаточно-инфильтрационные встречаются чаще. Наиболее благоприятными для образования этих месторождений являются осадочные карбонатные фосфатные породы или карбонатно-терригенные отложения.

Фосфориты выветривания находятся в карстовых полостях или в виде плащевидных и линейных залежей на поверхности выветривающихся пород. Благоприятным является умеренный или тропический климат. Руды сложены рыхлыми и каменистыми типами с содержанием P_2O_5 10 – 20 %. Запасы руд невелики и месторождения имеют подчиненное промышленное

значение. Промышленные скопления рыхлых и каменистых фосфоритов имеются в США (Флорида), в России Ашинское месторождение на Урале, в районах Сибири известно 10 месторождений выветривания, наиболее крупные из них – Белкинское в Кемеровской области и Телекское в Красноярском крае.

Максимумы фосфоритообразования приходятся на поздний докембрий-кембрий, пермь, поздний мел-палеоген и неоген. По В.Н.Холодову периоды максимального фосфогенеза возникают в результате эрозии и выветривания магматогенных скоплений апатитов на суше и усиленного поступления фосфора в смежные палеоморя. Ясно проявленная эволюция фосфоритообразования выражается в смене микрозернистых фосфоритов (докембрий-палеозой) зернистыми и желваковыми (мезозой-кайнозой).

6.2. Месторождения самородной серы и серного сырья

Сера известна человеку с глубокой древности: упоминание о ней датируется 2000 годом до н.э. Использовали ее для приготовления косметических средств, позже пороха, для лечения кожных заболеваний. Как химический элемент сера впервые была охарактеризована А. Лавуазье в конце 70-х гг. XVII века. Ее среднее содержание в земной коре $4,7 \cdot 10^{-2}$ мас. %.

В природе встречается как связанная сера – в виде сульфатов, сульфидов, так и самородная. Она концентрируется также в нефтях, углях, горючем газе и некоторых минеральных водах.

Самородная сера бывает кристаллической и аморфной. Сера амфотерна, благодаря чему может окисляться и восстанавливаться. Природная сера нередко загрязнена глинистыми и органическими веществами, гипсом, жидкими углеводородами, она может содержать примеси Se, Te, As.

Наиболее важные соединения серы – сернистый ангидрит SO_2 , сероводород H_2S и серная кислота H_2SO_4 .

Источниками элементарной серы и сернистого ангидрида служат следующие виды сырья: самородная сера, нефть и природные горючие газы (в сырой нефти содержание серы может достигать 14 %, составляя в среднем около 5 %), сульфидные руды различных металлов, сульфатные руды (гипсы и ангидриты), битуминозные пески и ископаемые угли. Из нефти сера извлекается при крекинге и других процессах переработки. В составе природных горючих газов постоянно присутствует сероводород иногда до 20 %. При переработке сульфидных руд получают серную кислоту, сернистый ангидрит и элементарную серу.

Наибольшее количество серного сырья (70 – 90 %) используется для получения серной кислоты которая расходуется на изготовление фосфорных, азотных и частично калийных удобрений, на производство различных химикатов (кислот, солей и др.) и очистки нефтепродуктов. Серную кислоту используют также при выработке красок и пигментов, синтетических волокон, взрывчатых веществ, моющих средств, пластмасс, искусственного каучука и в других отраслях промышленности. В больших количествах серная кислота расходуется при переработке урановых руд и получении урана.

Сера и сернистые соединения используются в бумажной промышленности, химической, резиновой, фармацевтической, в пищевой и текстильной, служат микроудобрениями и хорошими инсектицидами, сера применяется в производстве спичек и пиротехнике. Новыми областями использования серы является производство серных асфальтов, бетонов, керамики и изоляторов.

Серодобывающие предприятия выпускают комовую, гранулированную и молотую серу. По содержанию серы руды делятся на богатые (более 25 %), средние (18 – 25 %) и бедные (5 – 10 %). В России минимальное

промышленное содержание серы в месторождениях, разрабатываемых карьерами 6 – 10 %. По размерам зерен сера в рудах может быть скрыто-, тонко- и крупнокристаллической. Вредными примесями является гипс, битумы, мышьяк, селен. Сера, идущая на производство серной кислоты, должна содержать не более 5 % примесей, в том числе не более 1 % органических веществ. Особо жесткие требования предъявляются при изготовлении резины, вискозы, применении в фармацевтической промышленности. Для пиритовых руд минимальное содержание серы 25 %. Сернистый ангидрид извлекается из отходящих газов металлургических заводов, перерабатывающих сульфидные руды цветных металлов, при содержании его 3 % и более.

Общие запасы самородной серы – около 1 млрд.т. Наиболее значительные запасы находятся в Ираке, США, Чили, Мексике, Японии, Филиппинах. Мировые запасы пирита оцениваются в 1,9 млрд.т. Запасы серы в нефти и горючих газах 1,25 млрд.т., в сульфидах цветных металлов исчисляются многими сотнями миллионов тонн. Огромны запасы серы в углях, гипсах и ангидритах.

Мировая добыча серы – 50 млн.т. Около 33 % приходится на переработку нефти и природного газа, около 30 % - на разработку месторождений самородной серы, 14 % - на улавливание из газовых выбросов коксохимического производства и цветной металлургии, около 16 % - на переработку пирита, пирротина и других сульфидов, около 6 % - на переработку ангидрита и других сульфатов. В России все больше серы дают газоперерабатывающие заводы Оренбурга и металлургические заводы цветных металлов. Производство серы в настоящее время определяется не только потребностями в нем, но и необходимостью очистки нефти и газа.

Доля серы, полученной из нефти, природных и промышленных газов, составляющая в настоящее время около половины, имеет тенденцию к неуклонному возрастанию в связи с ужесточением требований по ограни-

чению выброса сернистых газов в атмосферу. Сульфиды железа при нагревании разлагаются с выделением сернистого газа SO_2 , который улавливается и переводится в серную кислоту. Этот источник получения серных соединений является доминирующим в Испании, Швеции, Норвегии.

При переработке ангидрита выделяются газы, которые содержат до 10 % сернистого ангидрита, переводимого в серную кислоту. Такой способ получения серы является существенным в немногих странах.

Месторождения самородной серы и ныне продолжают оставаться одним из ведущих источников ее получения.

Добыча серных руд осуществляется в открытых и подземных горных выработках, а также методом подземного расплавления.

Генетические типы промышленных месторождений

Промышленные месторождения самородной серы являются продуктами эндогенных (вулканической деятельности) и экзогенных (биохимических, инфильтрационных) процессов.

Вулканогенные месторождения пространственно и генетически связаны с молодым или современным вулканизмом. Источником серы являются вулканические газовые и жидкие эманации. Все промышленные месторождения этого типа расположены в пределах Тихоокеанского вулканического пояса, отдельные мелкие проявления есть в Средиземноморье. Среди рудовмещающих пород наиболее распространены андезиты, туфобрекчии, туфы, лавобрекчии. Самородная сера отлагается на границе сред с восстановительными и окислительными условиями. Залежи размещаются вдоль разломов и зон трещиноватости, в пористых породах (туфах, туфобрекчиях). По глубине образования руд выделяют приповерхностные и поверхностные вулканогенные месторождения.

Приповерхностные месторождения серы возникают на глубинах до 350 метров от поверхности. Они приурочены к склонам, подножьям и каль-

дерам вулканов или к межвулканическим впадинам. Форма рудных тел штоко-, линзо-, реже пласто- и трубообразная; размеры: длина 250 – 1300 метров, ширина 50 – 950 метров, мощность 50 – 150 метров. Развиваются процессы окварцевания, пропилитизации (рис. 6.4.).

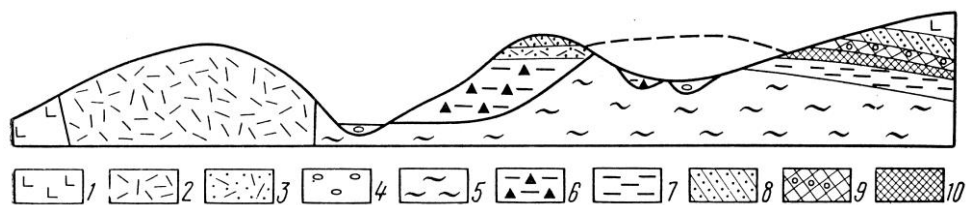


Рис. 6.4. Схема распределения измененных пород серного месторождения Новое (по Е. Д. Петраченко): 1— базальты и туфы; 2 — дациты; 3 — алуниновые кварциты; 4 — аллювиальные и озерные отложения; 5 — пропилитизированные породы; 6 — сера в различных измененных породах; 7 — каолинизированные породы; 8 — пористые опалиты (выщелоченные серные руды); 9 — серные руды, частично выщелоченные, с очковой структурой; 10 — серные кварциты и опалиты.

На всех месторождениях наблюдается вертикальная и горизонтальная зональность. Вертикальная зональность заключается в смене сверху вниз следующих разновидностей пород: моноопаловые, серные, алуниновые, каолиновые (рис. 6.5.). Горизонтальная зональность проявляется в смене фаций по обе стороны от рудоподводящего канала: монокварциты (опалиты) или серные кварциты, серно-алуниновые кварциты, каолининовые кварциты, серицитовые кварциты, гидрослюдисто-монтмориллонитовые породы, пропилиты. Наиболее богаты серой (30 – 35 % и более) серные кварциты. Руды имеют массивную, очковую, полосчатую или прожилковую текстуры. Руды комплексные: наряду с серой можно добывать пирит-марказитовые руды, алунит, гипс и ангидрит. Запасы серы в отдельных месторождениях достигают десятков миллионов тонн. К этому подтипу относятся месторождения Камчатки и Курильских островов (Новое, Заозерное, Малотойваям-

ское, Ветровая́мское и др.), Японии, США, многочисленные месторождения Чили, Перу, Мексики, Колумбии, Эквадора и Филиппин.

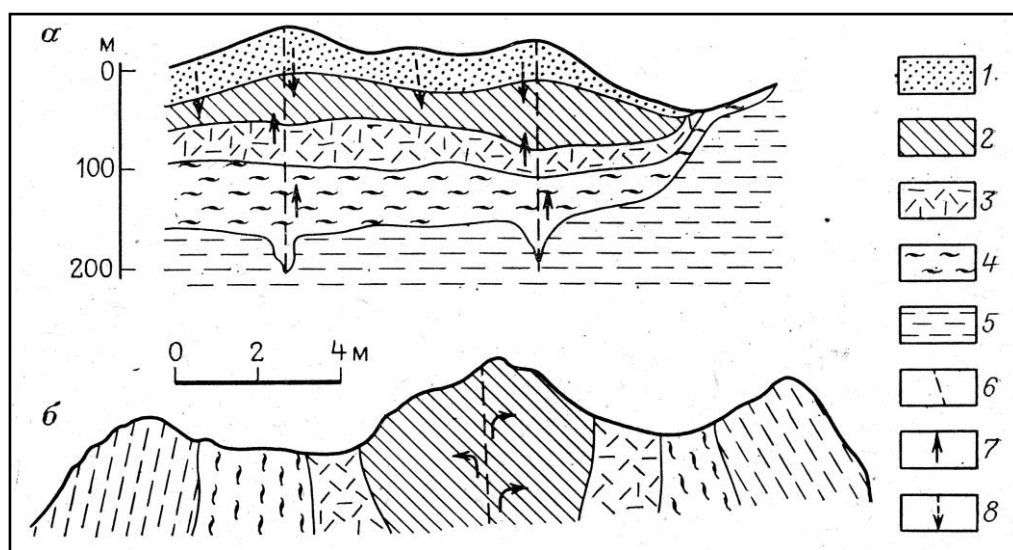


Рис. 6.5. Схема вертикальной (а) и горизонтальной (б) зональности участка Серное Кольцо месторождения Заозерное. По Г. М. Власову.

1 — монокварциты; 2—3 — кварциты: 2 — серные, 3 — алунитовые; 4 — каолинитизированные породы (каолинит-опаловые, кварц-каолинит-гидрослюдистые и др.); 5 — пропилиты и пропилитизированные андезиты; 6 — разломы; 7—8 — пути движения: 7 — вулканических газов и гидротерм, 8 — метеорных вод.

Поверхностные месторождения уступают по размерам приповерхностным. Они формируются из газовых или водных растворов на современных вулканах, в кратерных озерах. Выделяется несколько разновидностей месторождений.

Сублимационные (эксгалиационные) месторождения возникают на вулканах с сольфатарной деятельностью. Сера отлагается на стенках кратеров, трещин, образует корки, налеты, щетки, жилки. Содержание серы 80 – 95 %, но запасы небольшие.

Близки к эксгалиационным скопления **натечной** серы, откладывающиеся у выходов на поверхность термальных вод. Сера в смеси с опалом формирует агрегаты, цементирует обломки пород. Содержание серы 45 – 90

%. Часто сублимационные и натечные агрегаты совмещены. В России они известны на вулканах островов Кунашир и Итуруп.

Вулканогенно-осадочные месторождения серы в кратерных озерах образуются в результате выделения на дне озер вулканических сероводородных газов или вод. При окислении сероводорода осаждается сера, вместе с ней накапливались опал, глинистые минералы, алунит, гипс, марказит, вулканический пепел. Возникали серные илы, слагающие линзы длиной до сотен метров и мощностью от нескольких метров до 70. Запасы серы в единичных случаях достигают 1 млн.т. Сероносные илы есть в России в кратерных озерах островов Кунашир, Парамушир, на Камчатке, за рубежом в Японии, Индонезии. Серные потоки на действующих вулканах наблюдаются довольно часто, но они редко имеют промышленное значение. Источником серы послужили поверхностные и иные залежи, из которых сера была выплавлена при усилении вулканической деятельности. Форма серных потоков языковидная клинообразная. Сера обычно скрытокристаллическая грязно-зеленого цвета, содержит примеси до 10 %. Крупнейший поток вулкана Сиретоко находится в Японии.

Экзогенные месторождения заключают около 90 % мировых запасов и 95 % добычи самородной серы.

Биохимические осадочные месторождения образуются в водных бассейнах в результате окисления сероводорода при участии аробактерий. Продукт окисления – самородная сера накапливается в донных отложениях. Примером являются серные озера Поволжья России. В настоящее время они не имеют промышленного значения.

Инфильтрационно-биохимические эпигенетические месторождения возникают в результате следующих процессов: окисления сероводорода кислородом поверхностных вод, разложения гипса растворами хлористого натрия, редукции перешедшего в раствор сульфат-иона и окисления серо-

водорода кислородом инфильтрационных вод (при участии тиобактерий с последующим отложением серы на месте растворенного гипса), редукции гипсового кепрока соляных штоков сульфатредуцирующими бактериями с образованием сероводорода и кальцита, последующего окисления сероводорода до элементарной серы и ее накопление в кальцитовой зоне кепрока.

Важные в промышленном отношении эпигенетические месторождения серы находятся на побережье Мексиканского залива на территории США и Мексики, в Испании, на юге Франции, в Ираке и других странах, в России – месторождения Водинское, Алексеевское и другие в Самарской области. По морфологическим признакам среди эпигенетических месторождений серы выделяются солянокупольные, приуроченные к кепрокам соляных куполов; пластовые и пластообразные; линзовидные и гнездовые.

Из солянокупольных месторождений добывают около 80 % всей самородной серы – это месторождения Мексиканского залива (США и Мексика). Соляные штоки расположены на различной глубине от 50 до 800 метров. Они прорывают все вмещающие породы. Форма штока в плане овальная или круглая, диаметр от нескольких сотен метров до 5 км. Склоны обычно крутые. Соляные штоки состоят из галита (90 – 95 %) и ангидрита (5 – 10 %). Над ними залегают породы кепрока мощностью от нескольких метров до 300 м. Кепрок состоит из трех зон: нижней ангидритовой, промежуточной гипсовой и верхней кальцитовой. Иногда в кальцитовой зоне локализуются промышленные залежи нефти. В сероносных кепроках сера приурочена к кальцитовой или промежуточной гипсовой зоне, где она заполняет трещины и каверны. В ангидритовой зоне сера встречается редко, а в соляном штоке отсутствует. Содержание серы от 20 – 50 %. В серных залежах отмечается повышенное количество целестина, иногда барита, встречаются сульфиды, но содержание их редко превышает 1 %. Есть каверны с углекислотой, метаном, сероводородом, нефтью.

Образование серы трактуется следующим образом. При проникновении соляного штока в область грунтовых вод формируется ангидритовая зона кепрока за счет растворения и выноса галита. В дальнейшем при взаимодействии пород ангидритовой зоны с нефтяными водами часть ангидрита гидратировалась и переходила в гипс, а часть растворялась в воде с образованием активных ионов Ca^{2+} и $[\text{SO}_4]^{2-}$. Присутствие нефти и сульфатредуцирующих бактерий стимулировало восстановление сульфатов до сероводорода по схеме $\text{CaSO}_4 + 2\text{C}_{\text{орг.}} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{S} + \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2$. Окисление сероводорода приводило к отложению самородной серы в ассоциации с кальцитом. Соляные купола без признаков углеводородов не содержат серную минерализацию.

Пластовые и пластообразные месторождения серы известны во многих странах. Обычно они тесно связаны с лагунно-морскими отложениями сульфатно-карбонатного состава. Сера приурочена к пластам карбонатных пород – известняков, доломитов, мергелей, контактирующих или переслаивающихся с сульфатными породами – гипсами и ангидритами. Мощность согласных пластовых и пластообразных тел от нескольких дециметров до первых десятков метров. Руды высокосортные со средним содержанием серы 25 % и более возникают путем замещения чисто сульфатных пород – ангидритов и гипсов, а более низкого качества (12 – 14 %) по породам смешанного состава – доломит-сульфатным. Главные минералы – кальцит и сера. Кроме этого в рудах содержатся глинистые минералы, в подчиненном количестве гипс, целестин, барит, органическое вещество. Сера представлена двумя разновидностями – ранней скрытокристаллической, тонко распыленной в известняках и явно кристаллической, более поздней, образующей агрегаты, друзы кристаллов в кавернах.

Линзовидные и гнездообразные месторождения по условиям залегания, составу руд и вмещающих пород аналогичны пластообразным место-

рождениям, отличаются они морфологией и меньшими размерами рудных залежей.

В настоящее время доказано, что все крупнейшие месторождения серы – инфильтрационно-метасоматические. Они возникают за счет серы сульфата кальция (гипса, ангидрита) карбонатно-галогенных формаций и являются продуктами замещения этих сульфатов новообразованиями серы и кальцита. Сера выделяется в результате бактериальной сульфатредукции (при участии битумов), последующего окисления сероводорода и накапливается вместе с вторичным кальцитом. Приуроченность серы к нефтегазоносным бассейнам обусловлена генетической связью ее с углеводородами. Залежи серы тяготеют при этом к тем участкам, которые контактируют с водонефтегазоносными горизонтами. Важная роль в становлении месторождений серы принадлежит структурным факторам. Она заключается в приуроченности залежей серы к антиклиналям, брахиантиклиналям, свод которых разрушен, т.е. открытым в гидродинамическом отношении.

Месторождения серосодержащего сырья генетически очень разнообразны, и образуется в результате различных геологических процессов:

Важное значение имеют высокосернистые нефти и битумы, а также сероводородсодержащие горючие газы. Крупные месторождения известны в Мексике, Саудовской Аравии, Кувейте и других странах. В России наибольшие запасы газовой серы сосредоточены в месторождениях Волго-Уральской провинции.

Значительное количество серы и серной кислоты получают при переработке колчеданных руд. Содержание серы в массивных колчеданных рудах 40 – 50 %.

В ряде стран организовано производство серы из природных сульфатов (ангидрит, гипс, алунит).

Содержание серы в углях и горючих сланцах может достигать нескольких процентов, но в большинстве месторождений оно невысокое и непостоянное, поэтому в широких масштабах извлечение серы экономически неэффективно. Но наиболее обогащенные серной кислотой разности углей Подмосковного бассейна используются для попутного ее получения

6.3. Месторождения барита

Барит $Ba[SO_4]$ встречается в форме таблитчатых и призматических кристаллов, скрытокристаллических агрегатов и натечных образований. Барит имеет высокую плотность ($4,2 - 4,7 \text{ г/см}^3$), поэтому его называют тяжелым шпатом. Химически чистый барит характеризуется высокой белизной, инертностью и безвредностью, высокой поглотительной способностью. В барите часто присутствуют примеси Ca , Sr , которые обуславливают появление различных окрасок – бурой, желтой, темно-серой и черной.

Витерит $Ba[CO_3]$ имеет одинаковые с баритом физические свойства, но резко отличается химическими свойствами. Он относительно легко растворяется в углекислых водах и слабых кислотах, ядовит. Самостоятельных месторождений витерит не образует, встречается совместно с баритом.

Барит и витерит применяются в следующих отраслях производства.

1. Нефте- и газодобывающая промышленность, где используется 75-85 % мировой добычи в качестве утяжелителя буровых растворов.
2. Химическая промышленность потребляет 10 – 15 % мировой добычи барита и весь витерит для получения различных солей бария (хлористый барий и азотнокислый барий). Эти соли ядовиты и используются в сельском хозяйстве, в пиротехнике.

3. Лакокрасочная промышленность использует 4 – 9 % барита в качестве забеливателя и наполнителя при производстве белил, различных красок, лаков, эмалей.

Помимо этого, барит применяется в бумажной, резиновой, стекольной промышленности, для изготовления противорадиационных бетонов и штукатурок, специальных цементов, в электронике, металлургии, медицине.

Молотый барит в смеси с латексом и горячим асфальтом применяется для покрытия взлетно-посадочных полос и обычных дорог, обеспечивая получение прочного и гибкого слоя. Крупные бездефектные прозрачные кристаллы барита используются как пьезооптическое сырье. Сплавы с участием бария употребляют для изготовления газопоглотителей, типографских и антифрикционных изделий, а его соединения – в производстве сегнетоэлектриков и материалов для защиты от радиоактивного и рентгеновского излучения.

Требования промышленности разнообразны и регламентируются содержанием $BaSO_4$ и вредных примесей (Pb, Zn, Sr, Fe), белизной и плотностью. Переработка наиболее трудно обогащаемых (барит-кварцевых и барит-флюоритовых) руд рентабельна при содержании барита более 35-40 %. Для витезитовых руд, главным образом используемых в химической промышленности, содержание витезита должно превышать 36 %.

Добыча и потребление барита в целом возрастают, в связи со все расширяющимся перечнем областей его применения барита, а главное, с ростом объема глубокого бурения на нефть и газ. В настоящее время при общей мировой добыче барита свыше 7 млн.т. лидирующее положение занимают КНР (до 3,5 млн.т.), США (0,7 млн.т.), Индия (до 0,5 млн.т.) и Марокко (0,35 млн.т.); оставшаяся часть приходится в основном на Мексику, Иран, Таиланд, Болгарию, Германию, Испанию, Северную Корею и Турцию. В России максимум добычи составил 0,16 млн.т. (1996г.).

Запасы собственно баритовых руд, содержащих более 50 % BaSO_4 , оцениваются в 300 млн.т. Наиболее значительные запасы заключены в месторождениях США, Алжира, Германии, Таиланда, Канады, Италии, Марокко.

Генетические типы промышленных месторождений

В эндогенных условиях промышленные залежи барита и витерита формируются гидротермальными процессами. Различают: плутоногенно – гидротермальные, вулканогенно – гидротермальные, стратиформные месторождения. Плутно барит извлекают из колчеданных месторождений. В экзогенных условиях известны месторождения барита зоны окисления сульфидных руд, хемогенно – осадочные.

Сырьевая база баритдобывающей промышленности представлена как собственно баритовыми, так и комплексными месторождениями. По минеральному составу в первых могут быть монобаритовые, барит-витеритовые, кварц-баритовые и кальцит-кварц-баритовые руды, а в комплексных месторождениях барит-флюоритовые, редкометально-барит-флюорит-железорудные, барит-колчеданные и барит-полиметаллические руды.

В России по промышленным запасам и добыче преобладают месторождения сульфидно-баритовых руд (барит-колчеданные и барит-полиметаллические), среди которых могут появляться обособленные тела собственно баритовых руд, например, на месторождении Кварцитовая Сопка в Хакасии – одном из главных разрабатываемых объектов в России.

Плутоногенно - гидротермальные месторождения собственно баритовые, витерит-баритовые и барит-флюоритовые – весьма важный тип месторождений для барита и единственный для витерита. Он характеризуется высоким качеством руд.

По форме рудных тел различают жильные и пластообразные метасоматические залежи. Жилы и линзы контролируются зонами разрывных

нарушений, имеют протяженность до 2 км и мощность до 15 м. Вмещающие породы преимущественно осадочные и эффузивно-осадочные. А пластобразные месторождения приурочены к карбонатным породам и располагаются в зонах надвигов и межпластовых разломов. Размеры рудных тел аналогичны жильным.

По минеральному составу выделяют разновидности руд: баритовые (50 – 99 % BaSO_4), витерит-баритовые (1 – 70 % BaSO_4), барит-флюоритовые (п 1 – 70 % барита и 15 – 80 % флюорита). Из других минералов наиболее распространены кварц и кальцит, менее галенит, сфалерит, пирит и др. Руды первых двух разновидностей высококачественные, обычно белого цвета, хорошо обогащаются и дают кусковой барит и гравитационный концентрат.

Витерит, замещая барит, отмечается в самых верхах рудных тел. С глубиной увеличивается содержание флюорита, кварца, кальцита, сульфидов. Вмещающие породы подвержены хлоритизации, серицитизации, пиритизации, каолинизации, цеолитизации. Примером является Чордское жильное месторождение (Южная Осетия), Кутаисская группа в Грузии, ряд месторождений Германии, Болгарии, Турции, Марокко и других стран. В России к этому типу относится месторождение Туманный перевал на Дальнем Востоке.

Вулканогенно - гидротермальные месторождения связаны с наземным андезитово-дацитовым вулканизмом. Барит выделяется в зоне баритизации измененных околорудных пород. К этому типу относится Белореченское месторождение (Сев. Кавказ).

Стратиформные месторождения в карбонатных породах служат основным источником попутной добычи флотационных концентратов в России. Руды комплексные барит-свинцово-цинковые, иногда встречаются и собственно баритовые руды. Примером являются месторождения: Сардана

(Якутия), хребта Каратау (Казахстан), бассейна р. Миссури (США), крупнейшие месторождения Китая, Индии и др. Месторождения характеризуются значительными масштабами, простой морфологией рудных тел, достаточно высоким содержанием барита.

Колчеданные месторождения широко распространены, связаны с субмаринным базальт-липаритовым вулканизмом. Барит в них является жильным минералом и извлекается попутно. Это месторождения Урала (Гайское, Молодежное), Рудного Алтая (Сокольное, Зыряновское, Беловское), Салаирская группа.

Зона окисления месторождений. Барит – устойчивый минерал и может накапливаться в элювии месторождений, сложенным глиноподобной массой, содержащей обломки баритовых руд, мелкие кристаллы барита, гидроксиды железа. Примером являются элювиальные залежи на стратиформных месторождениях бассейна р. Миссури (45 % запасов барита США), Медведевское месторождение (Урал). Содержание барита 12 -20 %.

Хемогенно - осадочные месторождения достаточно широко распространены и представлены крупными пластовыми залежами собственно баритовых и реже сульфидно-баритовых руд, приуроченных к прибрежно-морским отложениям углисто-глинисто-кремнисто-сланцевой формации (рис. 6.6.). На месторождениях обычно устанавливается несколько пластов, мощность их варьирует от долей до нескольких метров, а протяженность измеряется километрами. Руды – массивные, конкреционные и вкрапленные. Содержание барита в массивных рудах до 90 %, а вкрапленных до 20 %. В баритовых пластах отмечается повышенная битуминозность, обуславливающая черную окраску, присутствуют примеси V, Sr, P и сульфидов (преимущественно пирит).

Образование месторождений связано с привносом растворенных солей бария в мелководные морские бассейны, где за счет окисления биоген-

ного сероводорода возникали повышенные концентрации сульфат-иона, вызывающие осаждение массивных баритовых руд. Конкреционные и вкрапленные руды возникали на стадиях лито- и диагенеза кремнисто-глинистых осадков, представлявших собой отрицательные коллоиды, способные сорбировать растворенный в воде барий. Примером месторождений этого типа является крупное Хойленское месторождение (Полярный Урал), месторождения Казахстана, Германии.

Особое место занимают вулканогенно-осадочные залежи, сформировавшиеся на или близ поверхности морского дна при осаждении здесь барита в результате смешивания восходящих барийсодержащих гидротермальных растворов с морской водой, обогащенной сульфат-ионом (месторождения Японии).

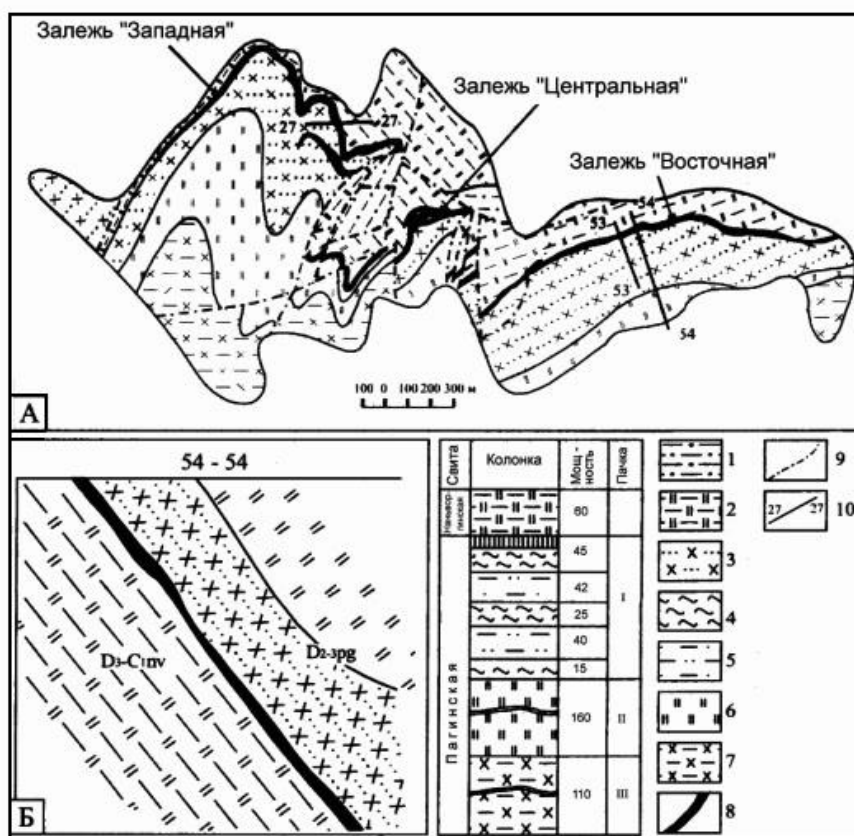


Рис. 6.6. Схема геологического строения Хойлинского месторождения: А - план , Б – разрез (по Н.В. Лютикову): 1 – терригенные отложения граувакковой формации (яйюсская свита C_{1-2jj}); 2 – отложения перекрыва-

ющей (надрудной) известняково-глинисто-кремнисто-сланцевой (пестросланцевой) формации (няньворгинская свита D_3-C_1nv); 3–7 – отложения рудоносной кремнисто-кварцито-сланцевой формации (пагинская свита $D_{2-3}rg$): 3–5 – верхняя терригенная пачка (I): 3 – нерасчлененная, 4 – глинистые, алевроглинистые сланцы, 5 – алевролиты и песчаники кварцевые, кварцитовидные; 6 – средняя кремнисто-сланцевая пачка (II); 7 – нижняя терригенная пачка (III); 8 – рудные залежи; 9 – тектонические нарушения; 10 – разведочные профили.

Техногенные месторождения барита представляют собой отвалы обогатительных фабрик – тонкоизмельченные продукты переработки комплексных колчеданных и полиметаллических руд. Такие отвалы с промышленным содержанием барита известны на месторождениях Салаирской группы (Россия), в США, Канаде.

Вторым техногенным источником барита являются продукты регенерации отработанных глинистых буровых растворов.

6.4. Месторождения галоидных солей

К минеральным солям относятся водорастворимые хлориды, сульфаты и карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов, а также сравнительно редких боратов, бромидов и йодидов. Минералогия солей очень разнообразна. Наиболее важное промышленное значение имеют следующие: хлориды – галит $NaCl$, сильвин KCl , бишофит $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, карналлит $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$; сульфаты – кизерит $MgSO_4 \cdot H_2O$, эпсомит $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, тенардит Na_2SO_4 , мирабилит $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$; карбонаты – натрон (природная сода) $Na_2CO_3 \cdot H_2O$.

Наиболее важными в промышленном отношении являются следующие соляные породы: каменная соль состоит из галита; сильвинит или сильвиновая порода; карналлитит или карналлитовая порода.

Промышленное использование солей разнообразно. Самый распространенный из них - хлористый натрий (галит) – используется для получения более 1500 разнообразных продуктов.

Каменная соль разделяется на пищевую, кормовую и техническую. В пищевой соли должно быть не менее 97 % NaCl. До 65 % добываемой каменной соли используется как пищевая соль и в качестве консерванта. Кормовая соль идет на корм скоту и для заготовки различных кормов. Техническая соль – исходный продукт химической промышленности - служит для получения каустической и кальцинированной соды, хлора, соляной кислоты, нашатыря, хлорной извести и др., а также используется в лакокрасочной, текстильной, фармацевтической, кожевенной, нефтяной, металлургической промышленности, в органическом синтезе, холодильном деле, мыловаренном производстве. Элементарный натрий применяется как теплоноситель в атомных реакторах, цианистый натрий – при извлечении золота из руд, хлор – в производстве инсектицидов, винипласта и других соединений.

Свыше 95 % калийных солей применяется для получения удобрений. Большое значение имеет производство химических препаратов (хлористого, сульфатного и каустического калия, хромпика, цианистого калия, едкого калия, поташа, бертолетовой соли и др.). Калийные руды к переработке пригодны с содержанием KCl 20 – 35 % и более.

Соли магния являются одним из источников получения металлического магния, необходимого для производства легких сплавов, и его химических солей. Сульфаты натрия применяются в химической, стекольной, целлюлозно-бумажной, текстильной, строительной, абразивной, кожевенной промышленности, медицине, фото и кинопроизводстве. Хлористый магний - один из распространенных дефолиантов.

Мировые ресурсы каменной соли оцениваются в 10 трлн.т. Ежегодный мировой уровень добычи каменной и поваренной соли к началу 90 –х гг. минувшего века составил 186 млн.т., из которых свыше 35 млн.т. приходилось на США – ведущую страну по добыче этого сырья.

Мировые ресурсы калийных солей составляют по различным оценкам от 31 до 66 млрд.т. в пересчете на K_2O . Основными производителями калийных удобрений в 2002 году являлись Канада (32,5 % мирового производства), Россия (4,1 млн.т., 15,2 %), Белоруссия (14,8 %), Германия (12,4 %) и Израиль (7,2 %).

Добыча сульфатов магния ежегодно составляет 2,4 млн.т. Страны-производители – Канада, США, Мексика и Испания.

Генетические типы промышленных месторождений

Все месторождения твердых солей являются осадочными, возникшими из истинных растворов в особых солеродных бассейнах с ограниченным доступом минерализованных вод в аридных климатических условиях.

По способу и времени отложения различают месторождения современные внутриконтинентальные озерные и прибрежно-морские, ископаемые (древние), рассолов и соляных источников. По составу солей и рапы выделяются содовый (карбонатный), сульфатный и хлоридный типы соленосных бассейнов

Соляная масса современных месторождений состоит из рапы - соляного рассола и самосада - твердых соляных отложений. По фазовому состоянию солей в бассейнах различают рапные, сухие и подпесочные озера. По объекту разработки – поверхностная и донная рапа, донные осадки: новосадка, старосадка, корневая соль. Поверхностная рапа перекрывает донные осадки, а донная – пропитывает их. Объем, концентрация и солевой состав поверхностной рапы подвержены значительным сезонным колебаниям. Донная рапа в большей степени насыщена солями, характеризуясь относи-

тельным постоянством концентрации и температуры, она заполняет поры и пустоты в пластах солей и пропитывает илы. В составе донных соляных отложений выделяют новосадку, старосадку и корневую соль. Новосадка осаждается из поверхностной рапы в течение года, она может перейти обратно в раствор. Часть новосадки, остающаяся нерастворенной в течение ряда лет, переходит в старосадку. Перекристаллизация старосадки или прямое образование из рапы кристаллического агрегата формируют корневую соль. В рапных озерах поверхностная рапа (рассол) сохраняется в течение всего года, а в сухих – лишь во влажный период; в подпесочных озерах поверхностная рапа отсутствует вообще; соляные отложения в них перекрыты песчаными наносами..

Галит является наиболее распространенным минералом всех галогенных формаций. Им сложены мощные залежи на месторождениях каменной соли и подстилающие на калийных месторождениях.

Современные осадочные месторождения солей связаны с внутриконтинентальными бессточными впадинами – соляными озерами и прибрежно-морскими бассейнами – лагунами и лиманами, выполненными рапой. Источником солей являются продукты выветривания щелочных пород, вулканические эксгаляции и соленосные породы галогенных формаций.

По химическому составу рапы и минеральному составу осадков среди современных месторождений выделяют хлоридные (преобладает галит), сульфатные (мирабилит, тенардит, эпсомит) и карбонатные (натрон).

Месторождения соляных озер возникают при превышении испарения над атмосферными осадками и при привносе в озера солей поверхностными и подземными водами. Соляные озера хлоридного типа распространены в южных районах европейской части России – Эльтон и Баскунчак, хлоридного и сульфатного типов – в Казахстане, в Кулундинской степи; карбонатного типа – оз. Серлз в США и др.

Прибрежно-морские осадочные месторождения представлены лиманами, лагунами и заливами. Они формируются в условиях затрудненного притока морских вод (узкие проливы, пересыпи и валы-бары, отделяющие их от моря) и испарения при устойчивом жарком и сухом климате. Месторождения прибрежно-морского типа распространены вдоль побережья Черного, Каспийского и Аральского морей. Наиболее характерным примером является залив Кара-Богаз-Гол, а также оз. Сиваш на побережье Азовского моря.

Ископаемые (древние) осадочные месторождения солей. Древние солеродные бассейны были преимущественно мелководными. Время формирования соляной толщи измеряется тысячами и десятками тысяч лет. На начальных стадиях галогенеза образовывались доломит-гипс-ангидритовые породы, затем преимущественно каменная соль и завершается процесс формированием калийно-магнезиальных солей. Калийные соли имеют ограниченное распространение в галогенных формациях, так как выпадают при концентрации рапы от 32 до 40 %. Такие концентрации возникают на заключительных стадиях выпаривания морских рассолов и поэтому калийные соли завершают разрез галогенной формации. После отложения в осадок соли претерпевали диагенетическую перекристаллизацию, в ходе которой могли происходить локальные новообразования.

Ископаемые соляные залежи сложены главным образом (в порядке убывания распространенности) ангидритом и гипсом, каменной солью, калийными и калийно-магниевыми солями (чаще сильвином и карналлитом), сульфатами натрия (обычно тенардитом и мирабилитом), боратами.

По условиям залегания соляных пород выделяют три основных типа месторождений: 1) пластовые со спокойным залеганием пластов; 2) пластовые дислоцированные складчатые; 3) солянокупольные. Для месторождений первых двух типов характерно слоистое внутреннее строение, пласто-

вая и линзовидная форма залежей. В связи с высокой пластичностью солей часто возникают складки течения, иногда наблюдаются раздувы. Примером является Славяно-Артемовское месторождение на Украине.

В солянокупольных месторождениях соляные купола слагают ядра округлых или вытянутых брахиантиклиналей. Мощность соли в ядре купола достигает нескольких километров. Соляные массивы (купола или штоки) имеют форму цилиндрических или округлых грибообразных тел (месторождение Илецкое в Оренбургской области). Площадь соляных куполов составляет десятки квадратных километров. Вокруг соляных куполов распространены кольцеобразные компенсационные впадины. Перекрывающие гипс-ангидритовые и карбонатные породы при выщелачивании верхних слоев соляного ядра обрушаются, образуя шляпу соляного купола – кепрок (рис.6.7.).

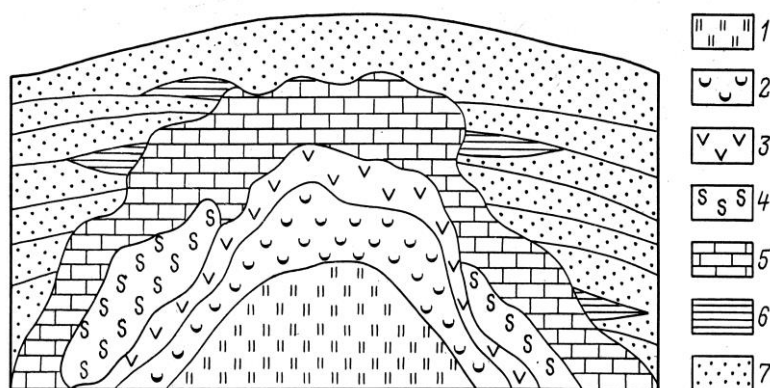
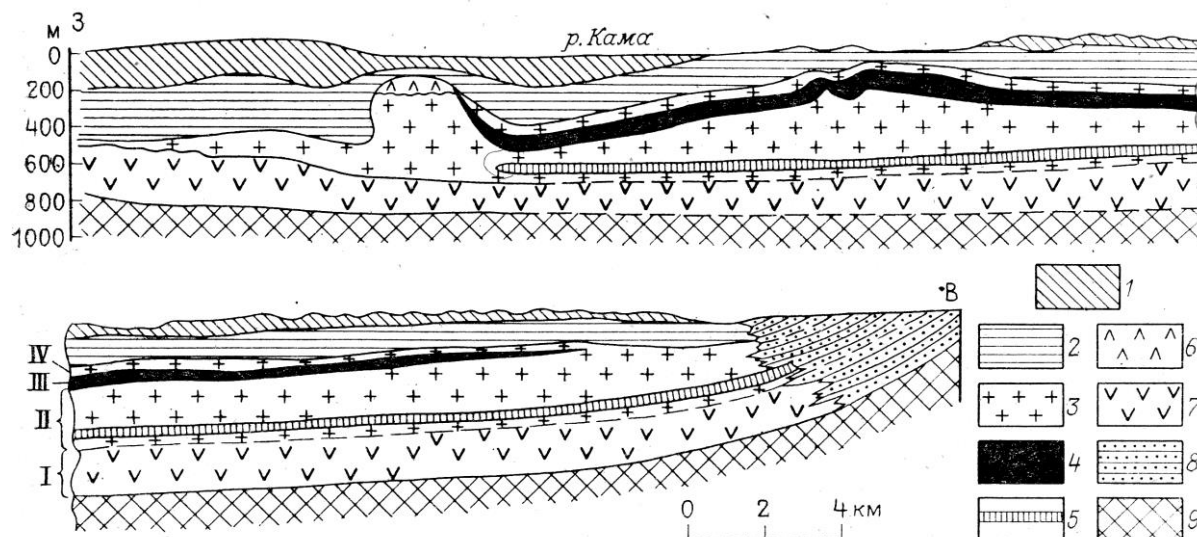


Рис.6.7. Разрез типичного соляного купола с хорошо развитым кепром (по Г. Тоду и др.): 1 соляной шток; 2 - 5 — зоны кепрока: 2 — ангидритовая, 3 — гипсовая, 4 — кальцитовая сероносная, 5 — кальцитовая; 6 — нефть; 7—осадочные породы

В месторождениях твердых солей широко распространены карстовые явления, усложняющие разработку месторождений.

Ископаемые месторождения калийно-магниевых хлоридных солей, представлены субгоризонтальными пластовыми залежами и линзами

мощностью в несколько метров, иногда с участками, осложненными соляной тектоникой, складчатостью, выполнены сильвином, карналлитом и галитом, переслаивающимися с каменной солью. Примеры: месторождения



Верхнекамского бассейна в России (рис. 6.8), Припятского в Белоруссии, Саскачеванского в Канаде. В сухом остатке солей Здесь в сухом остатке солей Верхнекамского бассейна обнаружено 20-25 г/т Au и элементы платиновой группы.

Рис.6.8. Схематический геологический разрез пермских отложений южной части Соликамской впадины. По П. П. Матвееву (с упрощением): 1—2 — верхняя пермь, уфимский ярус: 1 — шешминский горизонт (песчаники, алевролиты, аргиллиты); 2 — соликамский горизонт (известняково-песчаные, мергелистые, глинистые породы); 3—7 — нижняя пермь, кунгурский ярус, иреньский горизонт: 3 — переходная толща, покровная и подстилающая каменная соль, 4 — калийная соль, 5 — маркирующая нижняя ангидрит-соляно-мергельная пачка, 6 — гипсовая шляпа, 7 — глинисто-доломит-ангидритовая соленосная толща, переходящая внизу в доломит-ангидритовую толщу филипповского горизонта; 8 — кошелевская и лекская свиты кунгурского яруса (конгломераты, песчаники); 9 — артинский ярус (карбонатные, ангидритовые и песчано-конгломератовые породы).

Ископаемые месторождения сульфатных и сульфатно-хлоридных калийных солей, представлены линзообразными, пластово-линзообразными и

купольными залежами изменчивой морфологии и мощности (до нескольких метров), нередко смятыми в складки и осложненные разломами. В их составе главными являются каинит ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), лангбейнит ($2\text{MgSO}_4 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4$), подчиненными – сильвин, полигалит, галит, гипс и ангидрит (месторождения Прикарпатского бассейна на Украине, Прикаспийского в России и Казахстане, Северо-Германского в Германии и Польше).

Наиболее значительные скопления каменной, калийной, калийно-магниевых солей, гипса и ангидрита связаны с краевыми (Предуральский, Предкарпатский и др.) или синклинальными (Московский, Вилуйский, Северо-Германский и др.) прогибами платформ. В истории Земли основными периодами образования галогенных формаций являются: ранний палеозой (галогенные формации Сибирской и Северо-Американской платформ), средний и поздний девон (соленакопление Восточно-Европейской платформы), в карбоне мощное соленакопление наблюдается на Северо-Американской платформе. В пермский период галогенное осадконакопление достигло максимального развития на всем протяжении Предуральского прогиба, в краевых прогибах Восточно-Европейской платформы, в Прикаспии, Днепровско-Донецкой впадине образовались мощные соленосные формации.

Месторождения рассолов и соляных источников представлены концентрированными рассолами, циркулирующими в породах и трещинных зонах. При выходе таких рассолов на поверхность возникают соляные источники.

Подземные воды хлоридно-сульфатно-содового состава известны на большинстве нефтяных и газовых месторождений Северного Кавказа, Азербайджана, Западной Сибири. Из этих вод можно извлекать соду, буру, йод, бром, поваренную соль.

6.5. Месторождения бора

Как химический элемент бор был впервые получен Гей-Люссаком и Л. Тенаром в 1808 году. Минерал бора - бура $[\text{Na}_2(\text{H}_2\text{O})_5[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4]]$ - типичный минерал эвапоритов была известна почти 4 тыс. лет назад, ее использовали для изготовления амулетов. Позже ее употребляли при мумифицировании, добавляли в глазури.

Бор входит в состав 160 минералов, подавляющее большинство из них (свыше 100) являются боратами Mg, Ca, Na, и K, известны также боросиликаты и боралюмосиликаты. Лишь некоторые из минералов имеют промышленное значение. Для эндогенных руд – это датолит, данбурит, людвигит, суанит, котоит; в экзогенных рудах наиболее распространена бура, колеманит и улуксит.

Кларк бора в земной коре составляет $1,2 \cdot 10^{-3} \%$. Осадочные породы обогащены бором, а магматические – обеднены. Повышенные концентрации бора отмечаются в глинах и глинистых сланцах, фосфоритах, железомарганцевых конкрециях, а также в подземных водах вулканически активных районов, в нефтяных водах и в грязевых вулканах. Содержание бора свойственно водам океанов, лагун и озер, куда он поступает из кор выветривания или с продуктами вулканических извержений.

Практическое использование бора и его соединений чрезвычайно разнообразно. Бор применяется более чем в ста отраслях промышленности и сельского хозяйства. Около 55 % борного сырья потребляют стекольная и керамическая промышленность для изготовления оптических стекол, теплоизолирующего стекловолокна, кислото- и огнеупорных изделий, эмалей, фарфора и др. От 15 до 30 % бора применяется для выработки моющих и отбеливающих веществ, в небольшом количестве в медицине, сталелитей-

ной, резиновой, лакокрасочной промышленности. В сельском хозяйстве (10 % потребления) бор служит микроудобрением.

В последние годы особенно расширились области применения борного сырья. Бори́ды (соединения бора с металлами) используются при производстве особо прочных деталей реактивных двигателей. Карбид бора имеет высокую твердость, абразивную способность и применяется в шлифовальном деле. Нитриды бора используются в качестве термоизоляторов и полупроводниковых материалов. Один из нитридов (боразон) по твердости подобен алмазу. Сложные бороводороды – бораны являются горючим для реактивных двигателей.

Все боратые руды отличаются хорошими технологическими свойствами, при содержании B_2O_3 выше 12 % они идут в переработку без обогащения. Сложность и многообразие видов сырья являются причиной отсутствия единых промышленных требований к нему. Максимальные содержания B_2O_3 в рудах могут достигать 20 – 30 %, а минимальное – 2 – 6 %. Вредные примеси в них – Ca, Mg, сульфаты Fe и Al, сопутствующие полезные компоненты – сода, галит, калийные и магниевые соли, глины, цеолиты.

Содержание B_2O_3 в рапе соляных озер изменяется от 0,5 до 2,2 %, а в бороносных поверхностных и подземных водах оно еще ниже, однако это сырье легко добывается и перерабатывается.

Обогащение не требуется для гидроборацитовых и пандермитовых руд, в которых содержание B_2O_3 13 – 25 %, а бедные руды (2 – 13 % B_2O_3) легко обогащаются.

Датолитовые и данбуритовые руды делятся на высокосортные (10 % B_2O_3 и более), среднесортные (5 – 10 % B_2O_3) и низкосортные (3 – 5 % B_2O_3). Руды требуют обогащения. Сопутствующим полезным компонентом в них иногда является волластонит, используемый как керамическое сырье.

Запасы борных руд надежно не оценены. Ориентировочно мировые запасы руд составляют около 1,5 млрд.т. Наибольшими запасами располагают Турция, США, Боливия, Чили, Аргентина и др.

Главными продуцентами борного сырья в мире являются Турция и США, на их долю в середине 90 –х гг. минувшего столетия приходилось более 90 % мировой добычи, составлявшей 1,2 млн.т. B_2O_3 ежегодно (без России и стран СНГ). Оставшаяся часть приходилась на КНР, Аргентину, Перу и Чили. Заметное количество этого сырья добывается в России и Казахстане.

Генетические типы промышленных месторождений

Генетически бороносные месторождения разнообразны. К эндогенной серии относятся скарновые, вулканогенно-гидротермальные; к экзогенной - вулканогенно-осадочные осадочные химические, остаточные и инфильтрационные месторождения.

Скарновые месторождения – основной для России в промышленном отношении тип. Месторождения представлены магнезиальными и известковыми скарнами.

Магнезиальные скарны образуются на контакте доломитов, доломитовых известняков, магнезитов с гранодиоритами и диоритами. Форма скарновых залежей линзо- и пластообразные тела, реже отмечаются штоко- и жиллообразные. Длина скарновых тел может достигать 1,5 км, мощность – десятки метров. Скарны сложены диопсидом, шпинелью, форстеритом, флогопитом, серпентином. По минеральному составу руд различают людвигитовые, суанитовые и котоитовые месторождения. Людвигитовые месторождения – наиболее глубинные, самые крупные из них имеют архейский возраст. Гипабиссальные месторождения – обычно мелкие, локализуются в экзоконтакте гранитных массивов, имеют преимущественно мезозойский возраст. Людвигит всегда сопровождается магнетитом, т.е. руды

этих месторождений комплексные – железо-борные. Содержание B_2O_3 в рудах 4 – 10 %. Месторождения известны в России (Таежное в Якутии, в Забайкалье, Горной Шории), в Швеции, США.

Суанитовые месторождения встречаются редко, но отличаются крупными запасами. Содержание B_2O_3 в рудах высокое (12 – 17 %).

Котоитовые месторождения образуются на небольших глубинах, часто сопровождаются полиметаллическим, медным, висмутовым и иным оруденением. Содержание B_2O_3 в рудах обычно 6 – 8 %. Запасы руд от небольших до средних. Месторождения обнаружены на Дальнем Востоке и Северо-Востоке, за рубежом в Корее, США, Японии и др.

Известковые скарны часто приурочены к зонам мезозойской и кайнозойской складчатости, образуются на контакте известняков или известково-силикатных пород с гранодиоритами и кварцевыми диоритами. Бороносные скарны – инфильтрационные. Преобладают пироксен-гранатовые скарны, нередко присутствует волластонит, который может иметь промышленное значение. Промышленно ценными боровыми минералами являются датолит и данбурит, локализующиеся в экзоскарнах. В эндоскарнах образуется аксинит и иногда турмалин, эти минералы промышленного значения не имеют. Месторождения представлены пластообразными и линзовидными, круто-, реже пологопадающими залежами известковых скарнов (рис.6.9.) размером до трех километров по простиранию.

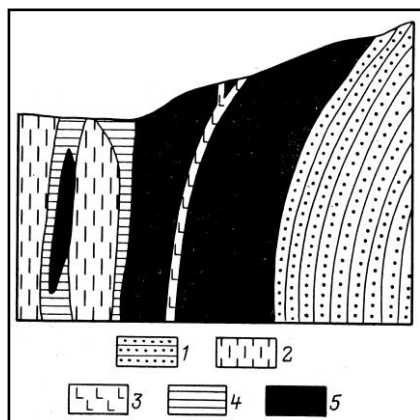


Рис. 6.9. Схематический геологический разрез месторождения бора (по В. М. Щербинину):

1 — кремнистые сланцы и песчаники; 2 — песчаники, алевролиты и сланцы; 3 — дайка диабазовых порфириров; 4 — гранатовые скарны, безрудные; 5 — волластонит-гранат-пироксеновые датолитсодержащие скарны.

Залежи имеют мощность в десятки-сотни метров. Содержание B_2O_3 варьирует от 5 до 15 %. К известково-скарновым относятся месторождения Приморья (Дальнегорское), боропроявления на Урале, Сибири, за рубежом в Японии, Великобритании и др.

Вулканогенно-гидротермальные месторождения бора представлены горячими минеральными источниками в областях современного вулканизма. Они распространены довольно широко, но имеют небольшое практическое значение, эксплуатируются лишь в Испании. Содержание борной кислоты изменяется от сотых долей процента до 0,5 %. Боросодержащие горячие источники вулканического происхождения известны в России (Камчатка), США и других странах.

Вулканогенно-осадочные месторождения бора связаны с молодым вулканизмом. Источником бора служат вулканические эксгаляции или вулканические породы, из которых бор легко выщелачивается. Месторождения формируются в бессточных или слабо проточных котловинах (пресных и соленых озерах) за счет выпадения борных минералов в результате химических реакций в условиях аридного климата.

На вулканогенно-осадочных месторождениях базируется вся боровая промышленность капиталистических стран. Эти месторождения отличаются высокими содержаниями бора, благоприятными горнотехническими условиями и простотой технологической переработки руд.

По составу вмещающих пород и возрасту в этих месторождениях выделяются две группы. В месторождениях первой группы наблюдаются два типа.

Месторождения первого типа приурочены к соленосным (эвапоритовым) озерным отложениям четвертичного возраста. Образование их связано с фумарольной деятельностью действующих или недавно потухших вулка-

нов. Месторождения расположены в котловинах у подножия вулканов. Эти котловины заняты солеными озерами (саларами) с пластами улексита, бурой, колеманитом и другими минералами, ассоциирующими с хлоридами и сульфатами Na, K, Ca. Мощность боровых слоев – 1 м, содержание B_2O_3 до 40 %. Запасы невелики. Месторождения развиты в Южной Америке (Чили, Перу, Аргентине, Боливии).

Месторождения второго типа также образуются в соленых озерах, но непосредственно не связаны с современным вулканизмом. Источником бора являлись вулканогенные породы, при выветривании которых в условиях аридного климата бор переносился и накапливался в бессточных котловинах. Из боратов преобладают бура и улексит, сопутствующие минералы – галит, сильвин, сода. Бор извлекают из рапы, из донного ила и самосадочной буры. Пластовые рудные тела имеют мощность до 15 м. Содержание B_2O_3 0,5 – 2,5 %, запасы нередко крупные. Крупнейшими месторождениями являются оз. Серлс (США), месторождение Кырка – (рис. 6.10.) (Турция). Подобные месторождения известны в Иране, Индии.

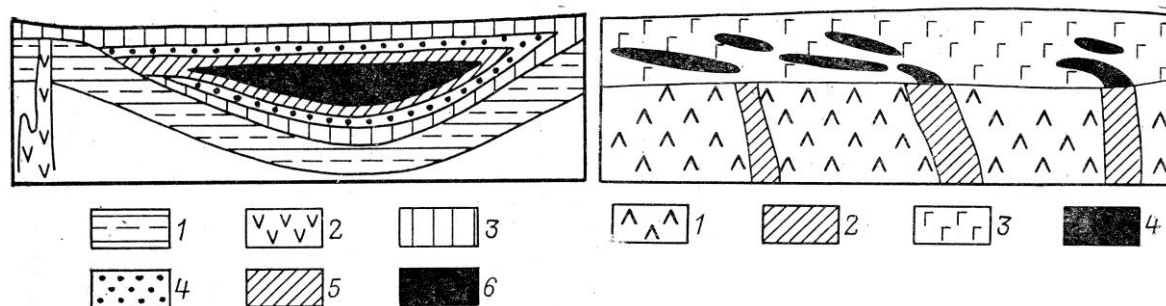


Рис. 6.10. Схематический разрез месторождения Кырка (Турция). По К. Инану и др.: 1 — породы фундамента; 2 — экструзивное тело; 3 — известняки; 4—6 — зоны развития боратов: 4 — кальциевых, 5 — натрий-кальциевых, 6 — натриевых.

Месторождения второй группы локализуются в отложениях пресных озер – глинистых или карбонатно-глинистых породах. Бораты залегают в

этих породах в виде пластов, линз, прослоев. Бор первоначально осаждался в виде буры, колеманита, улексита, которые в процессе диагенеза преобразовывались в пандермит, иньоит и другие минералы. Содержание B_2O_3 в рудах от 10 до 50 %. Запасы от средних до крупных. Примером являются месторождения Турции, США, Аргентины.

Осадочные химические месторождения связаны с залежами каменной и калийно-магниевых солей. В месторождениях каменной соли известна лишь непромышленная вкрапленность боратов. В подавляющем большинстве случаев бораты ассоциируют с калийно-магниевыми солями, поскольку бор осаждается лишь при высокой солености раствора.

Месторождения образуются в крупных солеродных бассейнах пермского возраста. В хлоридно-сульфатных солях бор представлен калибаритом, борацитом и ассоциирует с сильвином, карналлитом и сульфатами K, Mg, в хлоридных месторождениях главными минералами являются бишофит и карналлит, а бор представлен борацитом. Содержание B_2O_3 обычно 1 – 5 %, часто это непромышленное оруденение, но оно может служить источником для формирования более крупных остаточных и инфильтрационных месторождений.

Остаточные и инфильтрационные месторождения чаще всего приурочены к гипсовым шляпам соляных куполов, содержащих бедное борное сырье осадочного происхождения. Первично осадочные бораты замещаются ашаритом, улекситом и иньоитом. Содержание при этом B_2O_3 повышается до 25, иногда 35 %. Форма залежей пласто- и линзообразная. Бораты ассоциируют с гипсом и глинистыми минералами.

Бораты могут растворяться в водах и переотлагаться в пределах гипсовой шляпы, образуя инфильтрационные залежи, состоящие из вторичного гидроборацита, улексита и других кальциевых боратов (рис. 29.).

Остаточные и инфильтрационные месторождения тесно связаны между собой, встречаются на одних и тех же месторождениях. Мощность рудных тел от долей метра до десятков метров. Запасы небольшие до средних.

Заключение

Из вышеприведенного обзора генетических типов полезных ископаемых следует: при всем разнообразии условий образования промышленных месторождений металлических полезных ископаемых каждому металлу свойственны свои генетические особенности формирования крупных и уникальных запасов, имеющих наиболее важное промышленное значение.

В классе ликвационных руд важными являются оксидные месторождения хрома и сульфидные цветных металлов - меди, никеля и кобальта, а также платины. В процессе кристаллизации магматических интрузий ультраосновного и основного составов, формируются месторождения (главным образом на позднемагматической стадии) черных металлов - титана, ванадия, хрома и сопутствующих платиноидов (платина и палладий).

В группе карбонатитовых месторождений важными являются руды редких (цирконий, тантал, ниобий) и редких земель существенно цериевой группы.

Пегматитовые месторождения, как источники получения редких и редкоземельных металлов, в настоящее время уступают карбонатитовым, но остаются важными для лития, ценного неметаллического минерального сырья - мусковита, рубина, горного хрусталя, топаза, оптического флюорита и др.

Очень важную роль в формировании крупных и сверхкрупных месторождений многих металлов имеют еще не достаточно исследованные эндогенные метасоматические процессы. Наиболее известна группа скарновых месторождений, среди которых, кроме хрома, сурьмы и ртути, известны большие промышленные запасы железа и большинства цветных металлов, а также неруждого сырья (бора, флогопита и др.).

Класс альбититовых месторождений, выделенный в середине XX века, в настоящее время приобретает все большее экономическое значение как ис-

точник урана, редких земель и редких и рассеянных металлов. Альбитизация, как главный фактор рудогенеза, широко развита как в связи с интрузивным магматизмом, так и с тектоническими процессами повышения флюидопроницаемости в земной коре (Жариков и др., 1998).

Литература

Основная

1. Авдонин В.В., Бойцов В.Е., Григорьев В.М. и др. Месторождения металлических полезных ископаемых. Учебник для высшей школы. М.: Академический проект, Трикста, 2005. – 720с.
2. Месторождения металлических полезных ископаемых / В.В. Авдонин и др./– М. : ЗАО Геоинформмарк, 1999. – 272 с.
3. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых . – М. : Недра, 1989. - 326 с.
4. Геология месторождений полезных ископаемых : учебно-методическое пособие для вузов /Сост.: И.П. Лебедев, Е.Х. Кориш, К.А. Савко, В.М. Холлин. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2009.
5. Старостин В.И. Геология полезных ископаемых : учеб. для студ. вузов, обуч. по напр. "Геология и разведка полезных ископаемых" / В.И. Старостин. – М. : Изд-во МГУ, 1997. – 302 с.
6. Промышленные типы месторождений неметаллических полезных ископаемых / А.Е. Карякин [и др.]. – М.: Недра, 1985. – 286 с.
7. Еремин Н.И. Неметаллические полезные ископаемые : учеб. пособие для вузов. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 284 с.
8. Коваль И.К. Геология полезных ископаемых (промышленные типы металлических полезных ископаемых): учеб. пособие / И.К. Коваль. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 83 с.

Дополнительная

9. Синяков В.И. Модели метаморфогенного удообразования. Учебное пособие. Новосибирск, НГУ, 1983. - 70с.
10. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. – М. : Недра, 1982. – 669 с.

11. Романович И.Ф. Месторождения неметаллических полезных ископаемых : учеб. пособие для вузов / И.Ф. Романович. – М. : Недра, 1986. – 366 с.
12. Рудные месторождения СССР : в 3-х т. / под ред. В.И. Смирнова. – М. : Недра, 1974. – Т. 1. – 328 с. ; Т. 2. – 391 с. ; Т. 3. – 471 с.
13. Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. В трех томах. Том 1. Глобальные закономерности размещения. / Рундквист Д.В и др. М.: ИГЕМ РАН, 2006. - 3990 с.
14. Фролов А.А., Толстов А.В., Белов С.В. Карбонатитовые месторождения России. - М.:НИА - Природа, 2003. - 404 с.

Содержание

Введение.....	4
Глава 1. Генетические типы месторождений черных металлов.....	9
1.1. Месторождения железа.....	9
1.2. Месторождения марганца.....	19
1.3. Месторождения хрома.....	23
1.4. Месторождения титана и ванадия.....	28
Глава 2. Генетические типы месторождений цветных металлов.....	37
2.1. Месторождения меди, никеля, кобальта.....	37
2.2. Месторождения вольфрама, молибдена, олова.....	61
2.3. Месторождения алюминия, свинца и цинка.....	81
2.4. Месторождения сурьмы и ртути.....	96
Глава 3. Генетические типы месторождений редких и рассеянных элементов.....	104
3.1. Месторождения лития, рубидия, цезия.....	104
3.2. Месторождения бериллия, циркония, тантала и ниобия.....	112
3.3. Месторождения халькофильных рассеянных металлов.....	134
3.4. Месторождения редкоземельных элементов.....	148
Глава 4. Генетические типы месторождений благородных металлов.....	153
4.1. Месторождения золота и серебра.....	153
4.2. Месторождения платиноидов.....	171
Глава 5. Генетические типы месторождений технического минерального сырья и кристаллов.....	178
5.1. Месторождения алмазов.....	179
5.2. Месторождения исландского шпата.....	185
5.3. Месторождения горного хрусталя.....	187
5.4. Месторождения слюд.....	194

5.5. Месторождения асбеста.....	202
5.6. Месторождения графита.....	207
Глава 6. Генетические типы месторождений химического и агрохими- ческого сырья	212
6.1. Месторождения апатита, фосфоритов.....	212
6.2. Месторождения самородной серы и серного сырья.....	223
6.3. Месторождения барита.....	233
6.4. Месторождения галоидных солей.....	239
6.5. Месторождения бора.....	247
 Заключение.....	 255
 Рекомендуемая литература.....	 257

Учебное издание

Промышленные типы месторождений полезных ископаемых

Учебно-методическое пособие

Составители:

**Кориш Екатерина Хафисовна,
Лебедев Иван Петрович,
Савко Константин Аркадьевич,
Холина Наталья Викторовна,**

Издательский дом ВГУ

394000 Воронеж, пл. Ленина, 10

Отпечатано в типографии Издательского дома ВГУ

394018 Воронеж, ул. Пушкинская, 3