



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ

ГЕОЛОГИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ЕРЕМИН
НИКОЛАЙ ИОСИФОВИЧ

ГЕОЛФАК МГУ

КОНСПЕКТ ПОДГОТОВЛЕН
СТУДЕНТАМИ, НЕ ПРОХОДИЛ
ПРОФ. РЕДАКТУРУ И МОЖЕТ
СОДЕРЖАТЬ ОШИБКИ.
СЛЕДИТЕ ЗА ОБНОВЛЕНИЯМИ
НА [VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).

ЕСЛИ ВЫ ОБНАРУЖИЛИ
ОШИБКИ ИЛИ ОПЕЧАТКИ,
ТО СООБЩИТЕ ОБ ЭТОМ,
НАПИСАВ СООБЩЕСТВУ
[VK.COM/TEACHINMSU](https://vk.com/teachinmsu).



БЛАГОДАРИМ ЗА ПОДГОТОВКУ КОНСПЕКТА
СТУДЕНТКУ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА МГУ
СЕАНОВУ АНАСТАСИЮ СЕРГЕЕВНУ



Содержание

Лекция 1. Вводная лекция	7
Основные понятия и определения	8
Минеральные ресурсы (МР)	9
Руда (Ore).....	11
Месторождение полезного ископаемого (Mineral Depositz).....	13
Кондиции	15
Лекция 2. Площади распространения полезных ископаемых	17
Площади распространения полезных ископаемых (по В.И.Смирнову).....	17
Минерагенические «суперпровинции» и «суперпоояса» (Н.Н. Зинчук, А.Д. Савко, Л.Т. Шевырев).....	19
Курская магнитная аномалия	23
Лекция 3. Морфология тел полезных ископаемых	25
Изометричные тела.....	25
Плоские (плитообразные) тела.....	26
Трубообразные тела (вытянутые в одном направлении).....	31
Лекция 4. Химический и минеральный состав месторождений полезных ископаемых	35
Химические элементы и минералы как компоненты руд.....	35
Классификация месторождений полезных ископаемых.....	36
Металлические полезные ископаемые	37
Неметаллические полезные ископаемые.....	38
Некоторые важнейшие рудообразующие ценные (рудные) минералы.....	39
Лекция 5. Структуры и текстуры руд	42
Структуры руд	42
Текстуры руд.....	46
Лекция 6. Этапы и стадии минералообразования	51
Стадийное развитие литогенеза (По Н.М.Страхову)	53
Длительность формирования месторождений.....	54
Уровни глубин формирования месторождений	56
Источники вещества полезных ископаемых.....	56
Лекция 7. Контроль оруднения. Структура месторождений	59
Контроль оруднения.....	59
Структура месторождений.....	59
Геологические структуры месторождений полезных ископаемых	61
Лекция 8. Геологические условия образования месторождений, свойственные различным геодинамическим обстановкам	69

Тектоника литосферных плит (ТЛП).....	69
Внутреннее строение и предполагаемая динамика твердой Земли.....	71
Цикл Уилсона (ЦУ)	73
Геологическая формация	74
Минерагения основных геодинамических обстановок.....	74
Лекция 9. Периодичность образования месторождений в геологической истории Земли .	78
Тектоно-металлогенические периоды	78
Пример исследования свинцово-цинкового рудообразования в истории Земли (А.Л. Дергачев, Н.И. Еремин, 2010)	79
Лекция 10. Генетическая классификация месторождений полезных ископаемых (по В.И.Смирнову с изменениями).....	83
Сводная генетическая классификация месторождений полезных ископаемых (по В.И.Смирнову)	83
Группа магматических месторождений	85
Лекция 11. Карбонатиты как группа месторождений в составе магматогенной серии	95
Магматическая и гидротермальная гипотезы формирования карбонатитов.....	95
Массивы ультраосновных-щелочных пород с карбонатитами (УЩК).....	96
Характер минералообразования в карбонатитах.....	96
Фашии глубинности УЩК систем	97
Лекция 12. Пегматиты как группа месторождений в составе магматогенной серии.....	104
Пегматиты по составу изверженных пород	105
Простые, перекристаллизованные и метасоматически измененные пегматиты.....	105
Гипотезы образования пегматитов	106
Драгоценные и поделочные камни пегматитов	108
Лекция 13. Альбититовые и грейзеновые месторождения	111
Альбититы и грейзены	111
Зависимость минерального состава альбититов от щелочности исходных пород.....	114
Фениты и линейные альбититы.....	114
Ценные минералы руд альбититов и грейзенов	115
Лекция 14. Скарны.....	118
Скарновые породы.....	118
Типоморфные минералы скарновых пород	118
Гипотезы образования скарнов и скарновых месторождений	119
Подразделение скарновых месторождений	120
Лекция 15. Гидротермальные месторождения	125
Специфические особенности гидротермальных залежей.....	125

Околорудный метасоматоз	127
Изменения пород различного состава	128
Режим серы и кислорода.....	129
Классификация гидротермальных месторождений (по В. Линдгрену, 1933)	130
Классификация гидротермальных месторождений по В.И. Смирнову, 1989	131
Лекция 16. Колчеданные месторождения	136
Современное колчеданное рудообразование.....	147
Лекция 17. Группа россыпных месторождений (россыпи)	150
Классы в группе россыпных месторождений экзогенной (седиментогенной) серии полезных ископаемых.....	150
Россыпи.....	150
Коренные источники ценных минералов россыпей.....	151
Экономика	151
Условия образования аллювиальных россыпей	153
Группа осадочных месторождений.....	155
Образование стратиформного месторождения самородной серы Мишрак в Ираке	167
Цеолиты	167
Лекция 18. Месторождения выветривания	170
Выветривание.....	171
Минералы коры выветривания.....	171
Зональность кор выветривания	172
Инфильтрационные месторождения урана	177
Кора выветривания месторождений полезных ископаемых	178
Рудные минералы в зоне окисления (переходы, устойчивость)	180
Лекция 19. Метаморфогенные месторождения полезных ископаемых.....	184
Метаморфизм	184
Роль воды при метаморфизме	184
Фации метаморфизма	185
Изменения в результате метаморфизма	187
Регенерированные месторождения	191
Техногенная серия месторождений полезных ископаемых	191
Техногенные (техногенно-минеральные) месторождения	191
Техногенная серия месторождений полезных ископаемых	192
ТМ «Отвалы Аллареченского месторождения» (по С.Г.Селезеву, 2013).....	192

Лекция 20. Основные (мировые) геологопромышленные типы месторождений полезных ископаемых	194
Металлические полезные ископаемые	194
Неметаллические полезные ископаемые.....	194
Черные металлы.....	195
Железо (Fe).....	195
Марганец (Mn)	199
Хром (Cr)	202
Титан (Ti).....	205
Ванадий (V)	206
Лекция 21. Цветные металлы	209
Алюминий (Al).....	209
Медь (Cu).....	212
Никель (Ni)	218
Олово (Sn).....	221
Вольфрам (W)	223
Лекция 22. Благородные металлы	227
Золото (Au)	227
Серебро (Ag)	230
Металлы платиновой группы (МПП, PGE) Pt, Pd, Ir, Rh, Os, Ru	233
Лекция 23. Фосфор	238
Апатиты	238
Фосфориты	241
Соли	243
Асбест	246
Слюда.....	251
Лекция 24. Углерод	255
Графит.....	255
Алмазы.....	260

Лекция 1

Вводная лекция

Курс читается в 6 семестре для студентов специальностей «Гидрогеология и инженерная геология», «Геология и геохимия горючих ископаемых» и «Экологическая геология». Объем курса - 36 часов лекций.

Музеи

- Музей Землеведения МГУ (Главное здание МГУ, 27 этаж).

Зал № 8 - Процессы минералообразования

Зал № 9 - Процессы рудообразования (генетические классификации)

Зал № 10 - Месторождения металлических полезных ископаемых

Зал № 11 - Месторождения неметаллических полезных ископаемых

Зал № 12 - Месторождения горючих полезных ископаемых

Тел: 939-22-27 (Д.г.-м.н. Пелымский Глеб Андреевич)

- Государственный геологический музей им. В.И.Вернадского (ГГМ) 125009, Москва, ул. Моховая 11, стр. 2. Тел. 692-09-43 (бюро экскурсий)
Директор: академик Ю.Н. Малышев
Научный руководитель: академик Д.В. Рундквист.
Открыт для посещений: вторник, четверг, суббота, с 11 до 17.
- Минералогический музей им. А.Е.Ферсмана 119071, Москва, Ленинский просп. 18, кор. 2 Тел. 952-00-67
Научный руководитель: д.г.-м.н. П.Ю. Плечов.
Открыт для посещений: среда, четверг, пятница, суббота, воскресенье, с 11 до 16.

Литература

1. Авдонин В.В., Бойцов В.Е., Григорьев В.М., Семинский Ж.З., Солодов Н.А., Старостин В.И., «Месторождения металлических полезных ископаемых» М., Академический Проект, Трикста, 2005.
2. Авдонин В.В., Старостин В.И. «Геология полезных ископаемых» М., Издательский центр «Академия», 2010.
3. Еремин Н.И. «Неметаллические полезные ископаемые» М., МГУ, 2007. (Интернет, 2004, в разделе «Учебная литература» сайта «Геологический факультет МГУ»).
4. Еремин Н.И., Дергачев А.Л. «Экономика минеральной сырьё» М., КДУ, 2007, 2008.

5. Металлогенический кодекс России (Гл. ред. Лаверов Н.П., Морозов А.Ф.) М.: Геокарт-ГЕОС, 2012.
6. Смирнов В.И. «Геология полезных ископаемых». М., Недра, 1989.
7. Старостин В.И., Игнатов П.А. «Геология полезных ископаемых». М., Академический проект, 2004.
8. Сайт кафедры: ore.geol.msu.ru (текущие материалы по курсу).

Литература дополнительная

9. Министерство природных ресурсов РФ, Федеральное агентство по недропользованию Долгосрочная государственная программа изучения недр и воспроизводства минерально-сырьевой базы России на основе баланса потребления и воспроизводства минерального сырья. Москва, 2008.
10. Коллектив авторов. Отв. Редактор А.П. Ставский. Минеральное сырье: от недр до рынка (в трех томах). М., Научный мир, 2011.
11. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 22.12.2018 г №2914-р Председатель правительства Д. Медведев.
12. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Москва, 2020.
13. Стратегия экономической безопасности РФ на период до 2030 года. Утверждена Указом Президента РФ от 13.05.2017 года. № 208.
14. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов РФ в 2019 году. Государственный доклад. Министерство природных ресурсов и экологии РФ. Москва, 2020.

Основные понятия и определения

Полезные ископаемые (а. minerals; н. Mineralien, Nutzmineralien; ф. mineraux utiles, matieres minerals; и. minerales)

Природные скопления минерального вещества в земной коре, которые могут быть использованы в народном хозяйстве в естественном виде или после предварительной обработки (переработки) путем, например, дробления, сортировки, обогащения и т.п. для извлечения ценных металлов или минералов

Природные минеральные вещества неорганического и органического происхождения в недрах Земли и на ее поверхности, которые при данном состоянии техники и технологии могут экономически эффективно использоваться в сфере материального производства.

К полезным ископаемым относятся также и различные техногенные образования — отвалы горных выработок, отходы (хвосты) обогатительного, металлургического, химического и других производств, золу ТЭС, рудничные воды и т.п., технологически

доступные, экономически и экологически целесообразные для извлечения из них ценных компонентов (минералов, металлов, химических соединений и пр.).

По агрегатному состоянию полезные ископаемые могут быть твердыми (руды металлов, неметаллические полезные ископаемые, угли ископаемые, горючие сланцы, торф, газогидраты), жидкими (нефть, газовый конденсат, минеральные воды) и газообразными (природные горючие и инертные газы).

По основному использованию - металлическими (для извлечения металлов), неметаллическими (для получения химических элементов или их соединений, промышленных минералов и горных пород), горючими (для использования в качестве топливно-энергетического сырья), гидро- и газоминеральными.

Четкой границы раздела между металлическими, неметаллическими и горючими ископаемыми нет. Существует много полезных ископаемых, которые принадлежат и той, и той группе. Например, минерал гематит – промышленный минерал железных руд. Это металлическое полезное ископаемое, но одновременно гематит является и поделочным камнем – неметаллическое ПИ. Хромиты – хромовая руда – металлическое, с другой стороны хромит – огнеупор – неметаллическое ПИ. U, Th – металлические ПИ, энергетическое сырье для АЭС – горючее ПИ (Рис. 1.1).

Большинство руд являются комплексными ПИ (Рис.1.1).

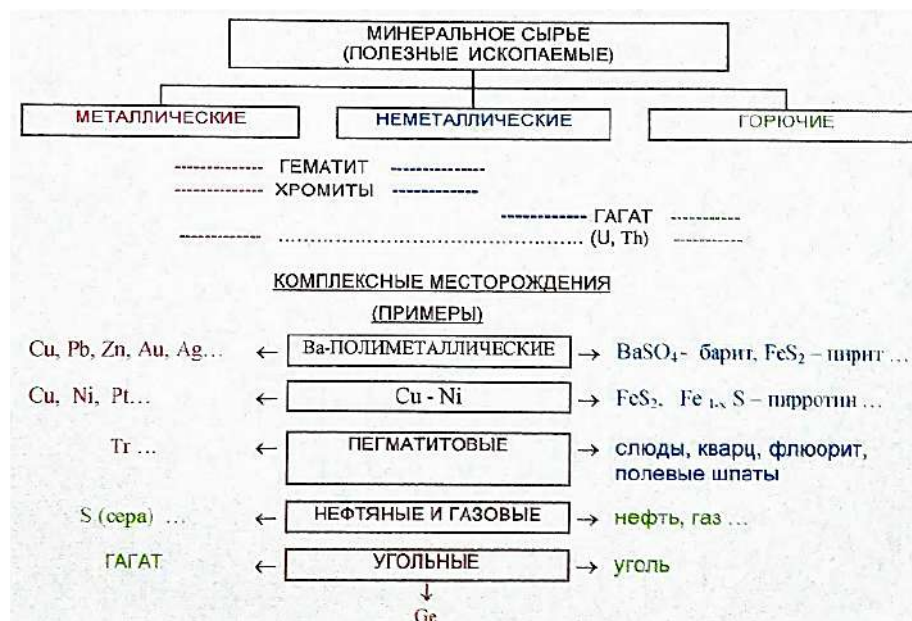


Рис.1.1. Примеры комплексных месторождений ПИ

Минеральные ресурсы (МР)

Минеральные ресурсы (МР) — все множество полезных ископаемых в недрах и на поверхности Земли, технически доступных и экономически целесообразных для промышленного использования в настоящее время и в ближайшем будущем.

Подавляющая часть МР — невозобновляемые природные образования за исключением донных отложений и рапы современных солеродных бассейнов, скоплений гуано, гидроминерального сырья и минеральных продуктов действующих вулканов.

Небольшая, но все возрастающая доля МР принадлежит различным синтетическим минералам и их монокристаллам как ценному техническому и ювелирно-поделочному сырью.

МР — понятие историческое: по мере развития общества, возрастания численности населения, его потребностей, его технических и экономических возможностей все большее число различных природных минеральных веществ вовлекаются в общественное производство, становясь полезными ископаемыми, поскольку они оказываются востребованными и появляются способы их добычи и практического использования.

Группировка минеральных ресурсов по отраслям использования

- Топливо-энергетическое сырье;
- Руды черных, цветных и легирующих, редких и благородных металлов;
- Химическое и агрономическое сырье;
- Индустриальное и техническое сырье, драгоценные и поделочные камни, разнообразные горные породы как естественные строительные материалы или как сырье для их производства;
- Подземные термальные пресные и минерализованные (в том числе и бальнеологические) воды;
- Разнообразие использования ПИ предопределяет условность этого подразделения (нефть - не только энергетическое, но и химическое сырье и т.п.).

Минеральное сырье (Minegal Raw Materials), МС

Природное образование земных недр, на добычу или производство которого был затрачен труд, но которое, как всякое сырье, не может быть использовано непосредственно без предварительной обработки (переработки).

Полезные ископаемые (руда), а также рудничные (товарная руда, концентрат, полупродукт, промраствор) и конечные сырьевые продукты их металлургического или химического передела (металлы, химические элементы и соединения, минералы).

Стратегическое минеральное сырье связано с геополитическими интересами страны, особо значимо для ее экономического развития, обороны и безопасности; его перечень устанавливается правительством и меняется в зависимости от военно-политических, экономических и других обстоятельств. В РФ это нефть, природный газ, U, Mn, Cr, Ti, бокситы, Cu, Ni, Pb, Mo, W, Sn, Zr, Ta, Nb, Co, Sc, Be, Sb, Li, Ge, Re, TRU

(редкие земли иттриевой группы), Au, Ag, PGE (платиноиды), алмазы и ОЧК (особо чистое кварцевое сырье).

Критическое минеральное сырье (critical minerals) выделяется в странах - лидерах научно-технического прогресса (США, ЕС и др.), высокотехнологичные (high-tech) производства и наукоемкие технологии нуждаются в ряде остро дефицитных редких, редкоземельных и др. металлов и минералов. Так, для стран ЕС Европейская комиссия в своем исследовании 41 вида необходимых полезных ископаемых выделила как критические 14: Sb, Be, Co, флюорит, Ga, Ge, графит, In, Mg, Nb, PGE, REE, Ta и W.

Минерально-сырьевая база (МСБ) — множество выявленных и разведанных месторождений, рудопроявлений и перспективных площадей с их запасами и ресурсами минерального сырья различного качества, а также определенной транспортной и социальной инфраструктурой.

Минерально-сырьевой комплекс (МСК) — совокупность отраслей промышленности и других сфер хозяйственной деятельности (торговля, логистика, финансы и пр.), обеспечивающих потребности человечества в минеральном сырье (Рис. 1.2).

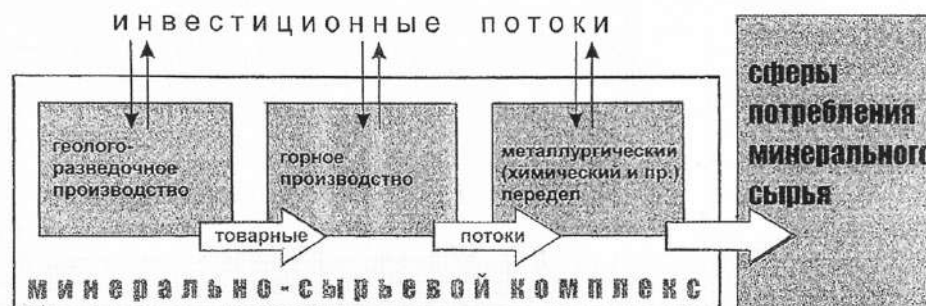


Рис.1.2. Структура мирового минерально-сырьевого комплекса (по А.П. Ставскому, 2011)

Структура МСК включает три блока: геологоразведочное производство (разведка месторождения, подсчет запасов), горное производство (принимает разведанное месторождение, проводит горно-добычные работы, перерабатывают первичную руду в концентрат) и металлургический (химический и пр.) передел, с последовательными товарными и раздельными инвестиционными потоками. Все три блока связаны товарными потоками последовательно. По вертикали независимо друг от друга – инвестиционные потоки.

Руда (Ore)

Полезное ископаемое (минеральное сырье), из которого путем соответствующей (металлургической, химической, электролитической и т.п.) переработки извлекают нужные металлы, другие химические элементы или их соединения.

Природное минеральное образование, из которого технологически возможно и экономически целесообразно промышленное извлечение металлов (или минералов) для использования их в народном хозяйстве. Экономическая целесообразность определяется условиями, учитывающими концентрации металла (или ряда металлов), минеральные формы нахождения и особенности его распределения в руде, потребности хозяйства страны, конъюнктуры мирового рынка и т.д.

Иногда термин руда применяется и к, многим неметаллическим («нерудным») полезным ископаемым: баритовая руда, графитовая руда, флюоритовая руда и др.

Существует неравномерность распространения металлов, так как везде различное геологическое строение (Таблица 1.1).

Таблица.1.1. Факторы (кларки) концентраций некоторых металлов в земной коре (по А.М.Эвансу, 1987)

Металл	Среднее содержание (кларк) в земной коре, (%)	Среднее минимальное промышленное содержание, (%)	Фактор (кларк) концентрации
Алюминий (Al)	8	30	3,75
Железо (Fe)	5	25	5
Медь (Cu)	0,005	0,4	80
Никель (Ni)	0,007	0,5	71
Цинк (Zn)	0,007	4	571
Марганец (Mn)	0,09	35	389
Олово (Sn)	0,0002	0,5	2500
Хром (Cr)	0,01	30	3000
Свинец (Pb)	0,001	4	4000
Золото (Au)	0,0000004	0,0001	250

Кларк концентрации – во сколько раз среднее минимальное промышленное содержание превосходит среднее содержание элемента в земной коре.

Руды делят на определенные сорта, в зависимости от того, как много металла в руде (Таблица 1.2).

Таблица.1.2. Сертификация руд некоторых металлов по содержанию ценного компонента, принятая в России

Вид сырья	Сорт руды по содержанию ценного компонента % (г/т)			
	богатая	рядовая	бедная	убогая
Fe-руда	Более 57%		Нижнее содержание варьирует от 14 до 25	
Cr-руда (хромит), Cr ₂ O ₃			Нижнее содержание для металлургического – 49, для огнеупорного - 32	

Ti-руда коренная, TiO ₂ (россыпная)			Нижнее содержание более 10 (более 10 ильменита или 1,5 рутила)	
Cu-руда	Более 2	1-2	До 1	
Ni-руда	Среднее содержание в сульфидных рудах – от 0,25 до 4, в силикатных – от 0,9 до 2,9			
Pb-руда (Pb+Zn)	Более 4 (или более 7)	4-2 (или 7-4)	2-1,2 (или не ниже 4)	
Sn-руда, коренная	Более 1	1-0,4	0,4-0,1	

Месторождение полезного ископаемого (Mineral Deposit)

Природное либо техногенное скопление минерального вещества на поверхности (включая дно Мирового океана) или в недрах Земли, по количеству, качеству и условиям залегания пригодного для промышленного использования. Это также ограниченный участок земной коры, в котором в результате тех или иных геологических процессов произошло накопление минерального вещества, по количеству, качеству и условиям залегания природного для промышленного освоения в настоящее время или в ближайшем будущем.

Группировка месторождений твердых полезных ископаемых может производиться по:

- Видам минерального сырья;
- Величине запасов (мелкие, средние, крупные, уникальные);
- Степени освоенности (оцененное, разведываемое, разведанное, подготавливаемое, разрабатываемое, отработанное, резервное)
- Элементному или минеральному составу руд (по главным и попутным компонентам)
- По генетическому типу и др.

Таблица. 1.3. Группировка месторождения некоторых металлических полезных ископаемых по разведанным запасам, принятая в России

Вид сырья	Месторождения			
	Весьма крупные	крупные	средние	мелкие
Fe-руда, млрд.т	Более 1	1-0,3	0,3-0,05	До 0,05
Mn-руда, млн.т	Более 1000	сотни	десятки	
Cr-руда (хромит), млн.т	сотни	десятки	единицы	
Al-руда(боксит), млн.т	Более 500	500-50	До 50	
Si, млн.т	Более 5	5-1	1-0,1	До 0,1
Ni, млн.т	Более 0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	До 0,1
Co, тыс.т	Более 50	50-25	25-10	До 10

<i>Zn, млн. т</i>	Более 10	10-2		
<i>Pb, тыс. т</i>	Более 3	3-0,6		
<i>Sn, тыс. т</i>	Более 100	100-25	25-5	До 5
<i>W, тыс. т WO₃</i>	Более 250	250-100	100-15	До 15
<i>Au, коренное (россыпное), т</i>	Более 100 (более 50)	100-50 (50-25)	50-10 (25-1)	До 10 (до 1)

Таблица 1.4. Группировка месторождений некоторых неметаллических полезных ископаемых по разведанным запасам, принятая в России

<i>Вид сырья</i>	<i>Месторождения</i>			
	<i>Весьма крупные</i>	<i>крупные</i>	<i>средние</i>	<i>мелкие</i>
<i>Апатиты, млн т (P₂O₅)</i>	Более 100	100-50	50-10	10-1
<i>Фосфориты, млн т (P₂O₅)</i>		Более 200	200-50	До 50
<i>Сера самородная, млн т</i>	Более 50	50-10	10-1	До 1
<i>Бор, млн т (B₂O₃)</i>		Более 1	1-0,25	До 0,25
<i>Калийные соли, млрд т (K₂O)</i>	Более 1	1-0,5	0,5-0,1	До 0,1
<i>Хризотил-асбест, млн т волокна</i>		Более 5	5-0,5	До 0,5
<i>Антофиллит-асбест, тыс т волокна</i>		Более 50	50-5	До 5
<i>Слюда, тыс т сырец</i>	Более 25	25-5	5-1	До 1
<i>Графит, млн т</i>		Более 10	10-1	До 1
<i>Плавленый шпат, млн т</i>	Более 2	2-0,5	0,5-0,1	До 0,1
<i>Барит, млн т (собственные баритовые руда)</i>		Более 2	2-0,5	До 0,5
<i>Барит, млн т (комплексные руды)</i>	Более 20	20-10	10-1	До 1

Таблица 1.5. Соотношение рудных месторождений различной крупности (по величине запасов)
(По А. П. Соловову)

Месторождения	Относительное соотношение	Соотношение, %	Запасы, %
Крупные	1	0,25	46
Средние	7	1,75	32
Мелкие	49	12,25	22
Рудопоявление	343	85,75	-

Крупные месторождения

В минерально-сырьевом балансе мира и отдельных стран большая часть запасов приходится на сравнительно немногочисленные крупные и единичные гигантские (уникальные, сверхкрупные, суперкрупные, особо крупные) месторождения, остальная – на многочисленные средние (рядовые) и мелкие объекты.

Основу мировой МСБ практически по всем видам ПИ составляют запасы крупных и гигантских месторождений

- Из 30 тыс. нефтяных месторождения 60 крупнейших вносят 70% в запасы нефти (Гвахар в Саудовской Аравии) и Большой Бурган в Кувейте и др);
- Из 10 тыс. газовых и газоконденсатных месторождений подавляющая часть запасов связан с немногочисленными очень крупными месторождениями (Южный Ларс – начальные запасы 6,8 трлн. м³ и Кенган – 3 трлн м³ в Иране, Норт – 6,76 трлн м³ в Катаре, Уренгойское – почти 6 трлн м³, Ямбургское – 4,3 трлн м³ в Западной Сибири).

Для металлических ПИ доля крупных и суперкрупных месторождений в ресурсном потенциале обычно составляет от двух третей (Au) о трех четвертей (Nb) разведанных запасов отдельных видов сырья

- Месторождение Боке (Гвинея) – 7,5% мировых общих запасов бокситов

Кондиции

Качественные и количественные показатели, определяющие пригодность полезных ископаемых для промышленного использования, совокупность требований промышленности к качеству минерального сырья и горногеологическим параметрам месторождения, определяемым технической возможностью и экономической целесообразностью его разработки.

Некоторые важнейшие кондиционные показатели:

- Минимальное промышленное содержание полезного компонента в руде;
- Бортовое содержание полезного компонента в руде краевых проб, по которому производится оконтуривание рудных тел;
- Минимальная мощность и максимальная глубина залегания рудного тела;
- Максимальное содержание вредных компонентов;

- Минимальные запасы полезного ископаемого;
- Специфические требования для конкретных видов минерального сырья и др.

При разведке месторождений выделяют разведочные кондиции:

Временные - разрабатываются в технико-экономическом докладе (ТЭД) по результатам предварительной разведки и используются для оперативного подсчета запасов и решения о целесообразности детальной разведки.

Постоянные - разрабатываются в технико-экономическом обосновании (ТЭО) для подсчета запасов ПИ экономической и их детальной экономической оценки.

Таблица 1.6. Примерные минимальные промышленные кондиции для коренных месторождений некоторых металлов

<i>Металлы</i>	<i>Типичные представители</i>	<i>Минимальные запасы, т</i>	<i>Минимальное содержание металла, %</i>
<i>Черные</i>	Fe, Mn	Сотни тысяч	20-25
<i>Цветные</i>	Cu, Pb, Zn,	Тысячи-десятки тысяч	0,4-1
<i>Редкие</i>	W, Mo, Sn, Hg	Десятки-сотни тысяч	0,1-0,2
<i>Радиоактивные</i>	U, Th	Десятки-сотни тысяч	0,05-0,1
<i>Благородные</i>		Килограммы	0,0005

Учение о полезных ископаемых

Учение о полезных ископаемых – научная дисциплина в общей системе наук о Земле, изучающая месторождения ПИ как геологические явления; к основным задачам учения относится изучение условий образования месторождений и закономерностей их распространения в земной коре.

Важнейшим разделом учения о ПИ является металлогения(минералогения) – наука о закономерностях образования и размещения месторождений ПИ в пространстве и во времени.

Основной объект исследования учения о ПИ – месторождение – изучается всем комплексом полевых и лабораторных методов, используемых в смежных областях наук о Земле.

Исследование месторождений ПИ неразрывно связано с решением экономических проблем, поэтому рассматриваемая научная дисциплина является геолого-экономической.

Лекция 2

Площади распространения полезных ископаемых

Металлогенические (минерагенические) таксоны

Таксон (от греч. *Taxis* – порядок) – любая систематическая единица, употребляемая в номенклатурах иерархических систем естественных наук

Площади распространения полезных ископаемых (по В.И.Смирнову)

Провинция — крупный участок земной коры, соответствующий платформе, складчатому поясу или дну океана, с размещенными в его пределах и свойственными ему месторождениями. Различают также провинции по видам минерального сырья: металлогенические (минерагенические), угленосные, нефтегазоносные. //Сотни тыс. — до млн. и более км²//

Область (пояс, бассейн) — часть провинции, характеризующаяся набором определенных по составу и происхождению месторождений и приуроченная к крупным тектоническим мегаструктурам (антиклинорий, синклинорий, срединный массив, наложенная мульда, краевой прогиб и др.). //Десятки - первые сотни тыс. км²//При этом размещение месторождений может иметь поясовую (приуроченность к линейно—вытянутым тектоническим структурам) или бассейновый (непрерывное или почти непрерывное распространение пластовых полезных ископаемых) характер.

Район (узел) — часть области, характеризующаяся местным сосредоточением месторождений. //Сотни-первые тыс. км²//

Поле (рудное поле) — группа месторождений, объединяемых общностью происхождения и единством геологической структуры. //От первых — до дес. км²//

Месторождение - участок земной коры, в котором в результате тех или иных геологических процессов произошло накопление минерального вещества, по количеству, качеству и условиям залегания пригодного для промышленного освоения в настоящее время или в ближайшем будущем. Оно может включать одно или несколько сближенных тел (залежей).

Тело (залежь) – локальное скопление полезного ископаемого, приуроченное к определенному структурно-геологическому элементу или комбинации таких элементов.

В составе тел (залежей) могут выделяться участки с наиболее богатыми рудами (так называемые «рудные столбы» или «бонанцы», *bonanza*).

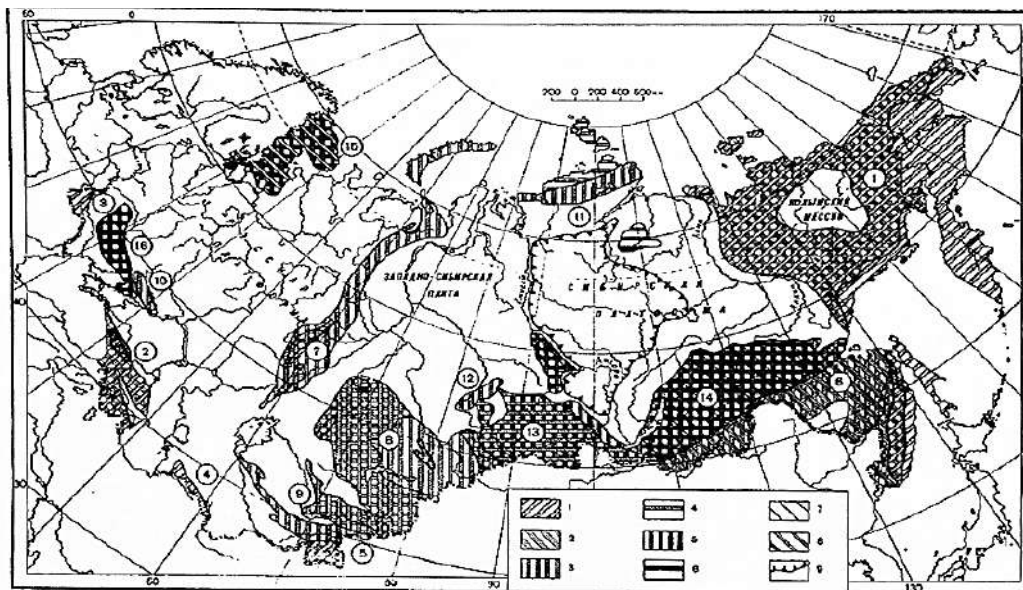


Рис. 2.1. Схема металлогенического районирования территории СССР (по В.И. Смирнову, 1965 г.). Области распространения месторождений различных металлогенических эпох геосинклинальных циклов: 1-альпийская, 2-киммерийская, 3-герцинская, 4-каледонская, 5-протерозойская, 6-архейская. Области распространения месторождений различных металлогенических эпох для платформ: 7-киммерийская, 8-герцинская, 9-область распространения траппов. Рудные провинции (цифры в кружках): альпийские: 1-Дальний Северо-Восток, 2-Кавказ, 3-Карпаты, 4-Копет-Даг, 5-Памир; киммерийские: Забайкальско-Приморская, герцинские: 7-Урал, 8-Казахстан, 9-Средняя Азия, 10-Донбасс, 11-Таймыр, 12-Томь-Колыванская зона; каледонские: 13-Алтае-Саянская зона, протерозойские: 14-южная часть Сибирской платформы, 15-Балтийский щит, 16-Украинский щит

Таблица 2.1. Система ранжированных пространственных металлогенических таксонов (Из: Металлогенический кодекс России. М.: Геокарт-Геос, 2012)

Уровень таксона	Имя таксона	Металлогенические таксоны	Размер таксона, км ²	Соответствующие тектонические таксоны
1	Глобальный	Глобальные металлогенические пояса, мегапровинции платформ	п.10 ⁶ - п.10 ⁷	Крупные части литосферных плит
2	Трансрегиональный	Металлогенические пояса покровно-складчатых областей, провинции щитов, чехлов платформ	п.10 ⁵ - п.10 ⁶	Коллизионные, аккреционно-коллизионные, аккреционно-коллизионно-активнокрайние области и пояса,

				щиты, плиты платформ
3	Региональный	Металлогенические субпровинции крупных структур чехла платформ, щитов; мегазоны покровно-складчатых систем	$n \cdot 10^4$ - $n \cdot 10^5$	Субпровинции, мегазоны
4	Территориальный (внутрирегиональный)	Металлогенические зоны, элементарные бассейны	$n \cdot 10^3$ - $n \cdot 10^4$	Структурно-формационные, тектонические зоны
5	Локальный	Рудные районы, рудные узлы, суббассейны	$n \cdot 10^2$ - $n \cdot 10^3$	Тектонические районы, суббассейны
		Рудные поля	$n \cdot 10^2$	Локальные тектонические

Минерагенические «суперпровинции» и «суперпояса» (Н.Н. Зинчук, А.Д. Савко, Л.Т. Шевырев)

Девять древних платформ («Суперпровинции»): Восточно-Европейская, Китайская, Северо-Американская, Африканская, Антарктическая, Сибирская, Индостанская, Южно-Американская, Австралийская.

Пять подвижных «суперпоясов»: Средиземноморский, занимающий юг Евразии и небольшую часть Сев. Африки; Тихоокеанский, соединившийся со Средиземноморским на территории современной Малайзии; Урало-Монголо-Охотский, разделивший Восточно-Европейскую, Сибирскую и Китайско-Корейскую древние платформы; Атлантический, по обоим берегам Атлантики; Арктический, на значительной части акватории Ледовитого океана.

Если имеем в виду все множество ПИ, сосредоточенных на одной территории, то это минерагеническая провинция. В данном случае показана минерагеническая провинция Западной Сибири. На (Рис. 2.2) оконтурена территория известных месторождений алмазов – кимберлитовые трубки. Сибирская алмазоносная провинция. Она разделена Южная часть - Вилюйская субпровинция, северная часть - Анабаро-Оленекская алмазоносная субпровинция. Далее в пределах этих субпровинций выделяются поля развития кимберлитов. Кимберлиты – ультраосновные магматические породы повышенной щелочности с преобладанием К над Na.

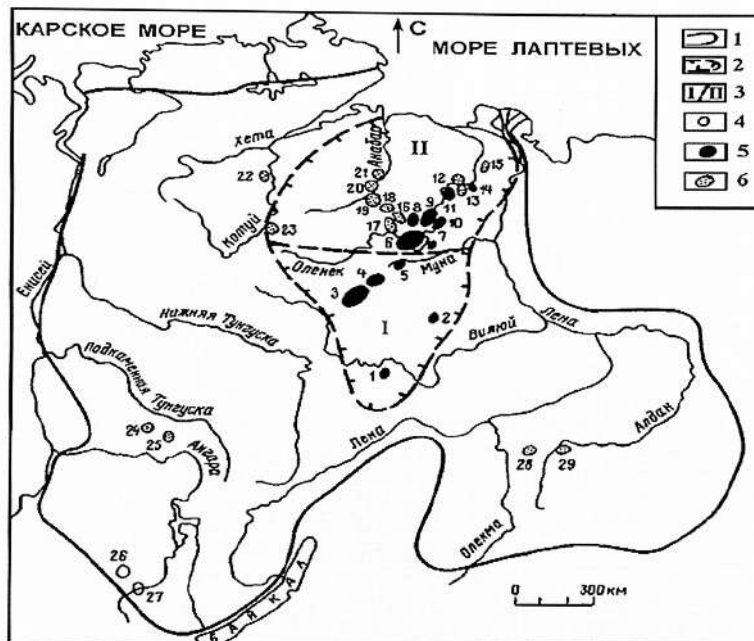


Рис. 2.2. Схема распространения кимберлитовых и кимберлитоподобных пород на Сибирской платформе (по А.Д. Харькиву, Н.Н. Зинчуку, В.М. Зуеву). Условные обозначения: 1- граница Сибирской платформы; 2-предполагаемая граница Якутской кимберлитовой провинции; 3- кимберлитовые области (субпровинции): I-Вилуйская, II-Аиабаро-Оленекская; 4- поля развития кимберлитов и кимберлитоподобных пород протерозойского (4), среднепалеозойского (5) и мезозойского (6) возраста (1-Мирнинское, 2-Накынское; 3-Алакит-Мархинское; 4-Далдынское; 5-Верхнемунское, 6-Чомурдахское, 7-Севернейское, 8- Западно-Укукитское, 9-Восточно-Укуинтское, 10-Огонер-Юряхское, 11-Мерчимденское, 12-Куойкское, 13-Верхнемолоднское, 14-Толуопское. 15 -Хорбусунское, 16-Лучаканское, 17 - Куранахское, 18-Дьюкенское, 19-Среднекуонапское. 20-Нюкиекуонапское, 21 - Орто-Баргинское, 22 - Котуйское, 23 - Харамайское, 24 - Тайчикуно-Нембинское. 25 - Чадобецкое. 26 - Белозимнское, 27 -Окинское, 28- Чомполинское, 29-Тобук-Хатыстырское)

Архангельская алмазоносная провинция, по размерам намного меньше Сибирской. Выделяется целый ряд полей магматизма. Магматизм кимберлитовый, где могут быть обнаружены кимберлитовые трубки. Наиболее важное - Золотицкое поле, где 5 кимберлитовых трубок (Рис. 2.3).

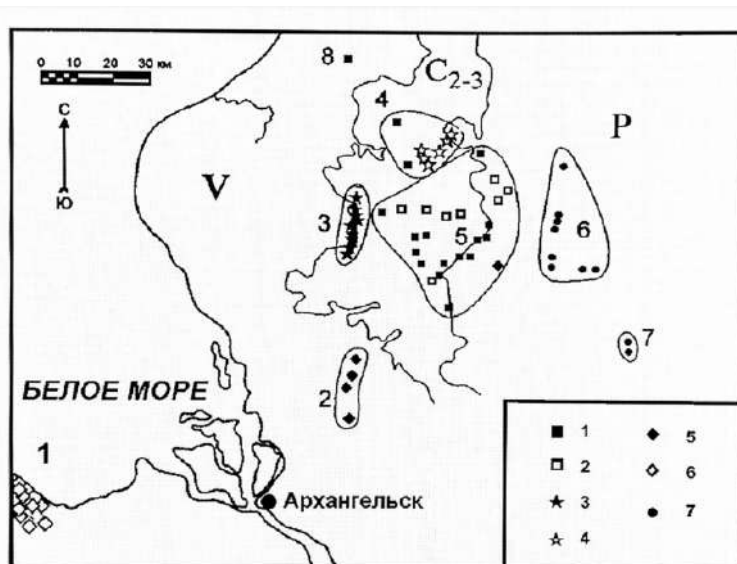


Рис. 2.3. Схема размещения основных видов и геохимических типов магматических пород Архангельской провинции (по О.А. Богатикову и др.). Поля магматизма (цифры на схеме): 1 — Нёнокское (Онежский п-ов); 2 — Ижмозерское; 3 — Золотицкое; 4 — Верхотинское; 5 — Кепинское; 6 Турьинское; 7 — Полтинское; 8 — Пинежское; 9 — Мельское. Типы пород (условные обозначения): 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

Рудноалтайская провинция ограничена геологически на ЮЗ – ЮЗ зона смятия, видна интенсивная складчатость, СВ зона смятия видна хуже. Здесь большое количество колчеданных месторождений – вулканогенные образования, преимущественно девонского возраста, главные компоненты Cu, Zn, Pb, попутные – Au, Ag. Поделена на ряд рудных районов. В пределах каждого рудного района имеется месторождение.

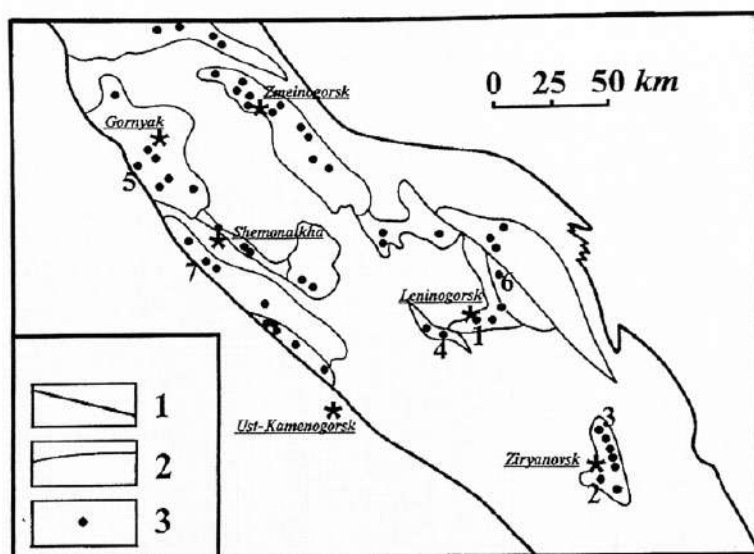


Рис. 2.4. Главнейшие рудные районы и колчеданные месторождения Рудного Алтая:
1-границы Рудноалтайской провинции,
2-границы рудных районов,
3-колчеданные месторождения (крупнейшие пронумерованы:
1-Ридер-Сокольное,
2-Зырянское,
3-Малевское,
4-Тишинское,
5-Орловское,
6-Чекмар, 7-Николаевское)

Риддер-Сокольное месторождение (Рис. 2.5) – 11 сближенных рудных тел. Разрез крупнейшей залежи. В самом верху у залежи – массивные колчедановые руды. Ниже находятся прожилково-вкрапленные руды в массе интенсивно измененных вулканогенно-осадочных пород (кварциты), далее более молодые вулканогенно-осадочные обнажения.

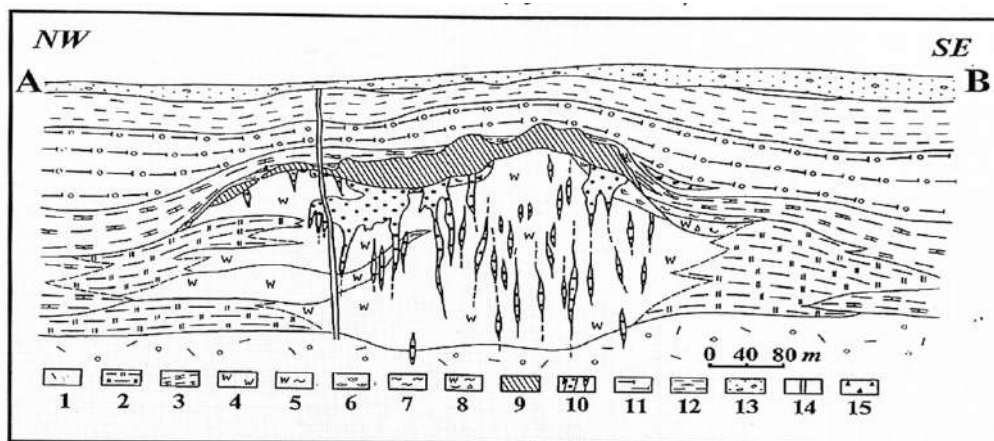


Рис. 2.5. Условные обозначения: 1— риолитовые туфы, 2- кремнистые алевролиты, 3— известковистые алевролиты, 4- кварциты, 5— кварц-серицитовые породы, 6- хлоритовые породы, 7— серицитовые породы, 8- брекчированные кварц—серицит—хлоритовые породы, 9— массивные сульфидные руды, 10- жилы и штокверковые руды, 11-туфогенные конгломераты, 12—алевролиты, 13~ четвертичные отложения, 14-дайки диабазов.

На территории России выделяются несколько оловоносных поясов. А.Б. Павловский их отождествляет с провинцией (Рис. 2.6).

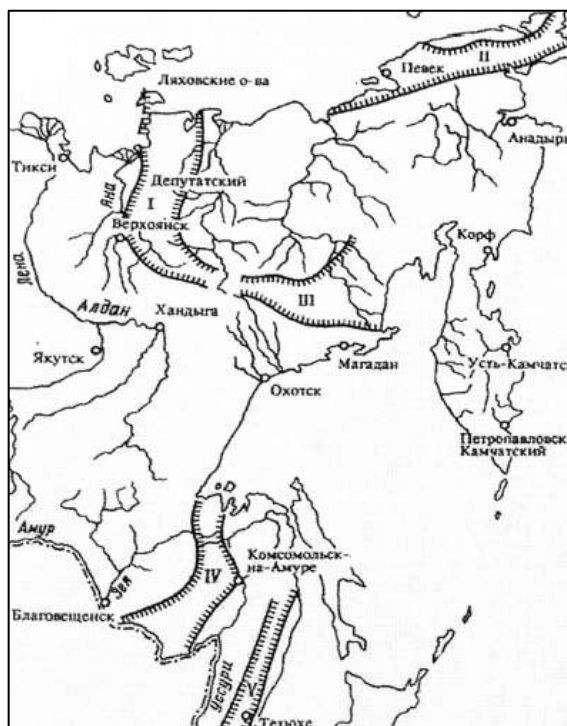


Рис. 2.6. Оловоносные пояса дальневосточного экономического района России (По А.Б. Павловскому).

Оловоносные пояса (провинции):

- I — Верхоянский,
- II — Чукотский,
- III — Колымский,
- IV — Хингано—Охотский,
- V — Сихотэ—Алинский

Далее приведен пример бассейна (Рис. 2.7).

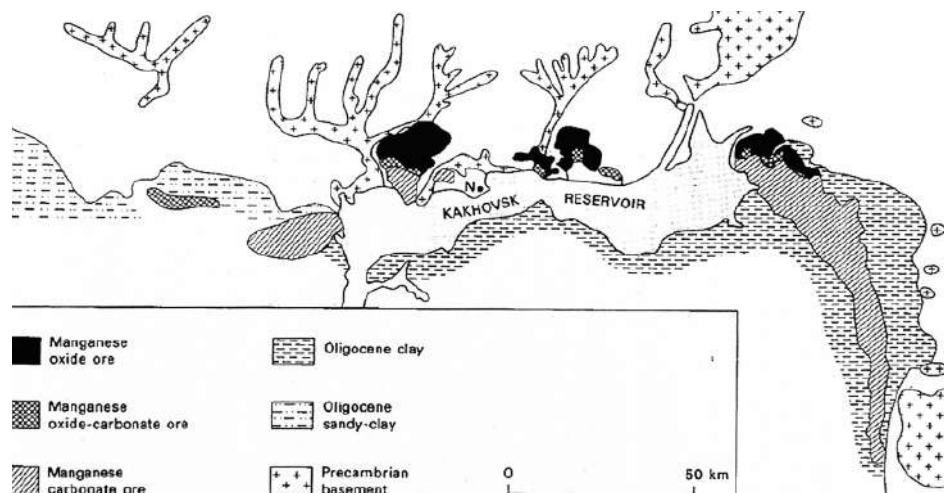


Рис. 2.7. Распределение марганцевых руд в Южно-Украинском бассейне (По Варенцеву и Рахманову, 1977) (Северная и восточная части карты с выходами докембрийского фундамента большей частью перекрыты четвертичными осадками, N-Никополь)

Курская магнитная аномалия

Курская магнитная аномалия-крупнейшая железорудная провинция в России (Рис. 2.8). На карте показан контур – металлогеническая железорудная провинция.

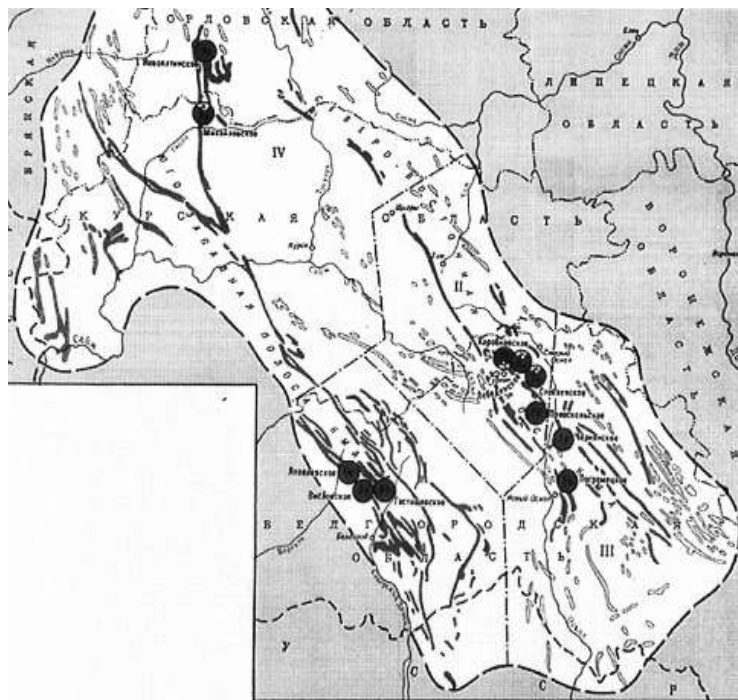


Рис. 2.8. Курская магнитная аномалия.

Протяженность с ЮВ
на СЗ-около 600км.

Ширина – 150-250 кв.км

Площадь – 120000 кв.км

Ср.сод. Fe в железистых кварцитах
($mt-hm-Q$) -32-37%,
в богатых Fe-рудах – 66%

Запасы (1984) богатых Fe-руд
до гл. 1200м:

Разведанные – более 25 млрд. т;

Предварит.оцененные – более 30 млрд.т.

Мощность платформ. чехла:
От 40-450 м на СЗ (Орел, Курск)
до 500-700 на ЮВ (Белгород)

Таблица 2.2. Металлогенические таксоны КМА (Железные руда КМА, 2001)

Металлогеническая зона	Металлогенический, рудный район	Рудные узлы
Орловско-Оскольская	Орловский	Орловская, Воронежская, Петровско-Вязовская, Малоархангельский, Знаменский и др.
	Оскольский	Старооскольский (включает Лебединское рудное поле), Болотовская, Ястребовская и др.
Михайловско-Белгородская	Белгородский	Яковлевско-Таволжанская, Ольховатско—упиновская, Прохоровско-Большепетроицкая, Олимпийский
	Михайловский	Железногорский, Фатеевская, Жигаевская, Реутецкий, Нарышкинский, Хотышеикский и др.
	Барятинский	Анисовская, Людиновская, Сталкинский
Курско-Корочанская	Курский	Бесединская, Медвенско-Истобянская
	Валуйский	Богдановская, Уразовская
Крупецкая		Будский, Крупецкой
Льговская		Ждановский, Рыльский, Севская, Почклянская, Тарасовская
Брянская		Малеевский, Дубровинский, Дьяковская и др.
Россошанская		Никитовский, Новомосковский, Сагуновский, Сотницкий, Высочановская

Лекция 3

Морфология тел полезных ископаемых

Морфология тел полезных ископаемых (от греч. *morphe* — форма и *logos* — учение) — форма тел полезных ископаемых. По форме скопления полезных ископаемых исключительно разнообразны и никогда не повторяются в деталях. Основные морфологические типы рудных тел выделяются по соотношению их размеров по трем осям: равновеликие по трем направлениям (изометричные), удлинённые по двум направлениям (плоские) и вытянутые в одном направлении.

Форма тел ПИ может быть переходной от изометричной к плоской, неправильной, а также представлять собой комбинацию нескольких простых форм.

Изометричные тела

Изометричные тела (приблизительно равновеликие в трех направлениях)

Штоки – крупные (более 10 м) изометричные залежи сплошного или почти сплошного полезного ископаемого.

Штокверки – относительно изометричные блоки горной породы, пронизанные мелкими жилками и насыщенной вкрапленностью минерального вещества, разрабатываемые целиком в качестве ПИ.

Гнезда – небольшие (до 10 м) локальные скопления ПИ.

Когда штоки или гнезда сплюснены в одном направлении, то это-линзы и чечевицы (тела, переходные по форме от изометричных к плоским).

Пример – шток медной руды на месторождении Цителсонели (Кавказ) (Рис. 3.1).

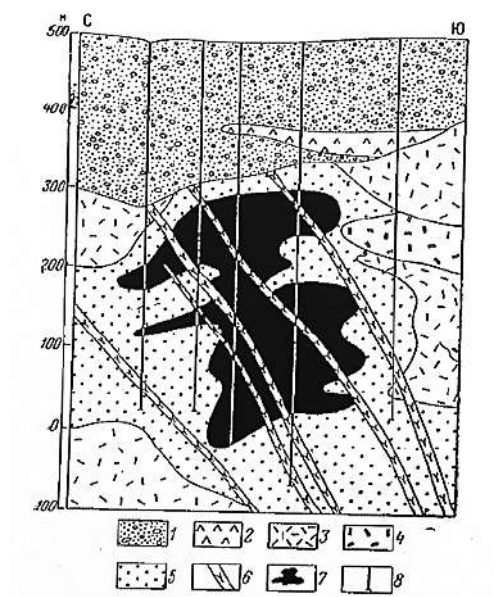


Рис. 3.1. Шток медной руды на месторождении Цителсонели:
1-четвертичные рыхлые отложения,
2-четвертичные лавы,
3-верхнемеловые туфы,
4-огипсованные туфы,
5-вторичные кварциты,
6-дайки кварцевых порфиров,
7-рудное тело, 8-буровые скважины

Штокверк (Рис. 3.2) – сгущение прожилков и вкрапленников ПИ во вмещающем теле – единая залежь, которая носит штокверковый характер. Это свойственно месторождениям хризотил-асбеста.

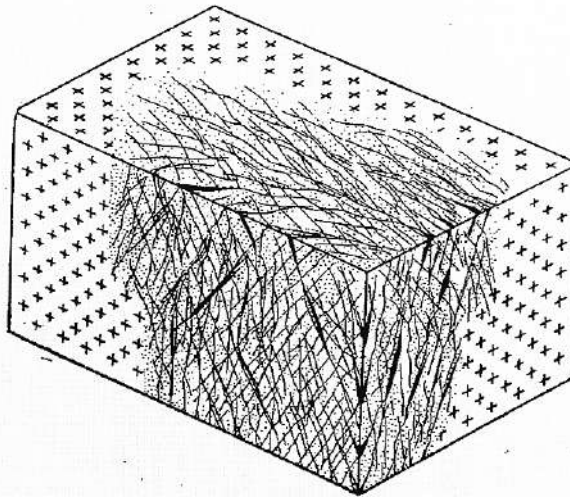


Рис. 3.2. Принципиальная схема штокверка

Гнезда руды (Рис. 3.3). В Средней Азии – сурьмяно-ртутное месторождение. Локализация тел ПИ субизометричных, они локализованы на пересечениях карбонатных пород внизу и глинистых пород наверху. Контакт рассечен разломами, которые являются рудоподводящими.

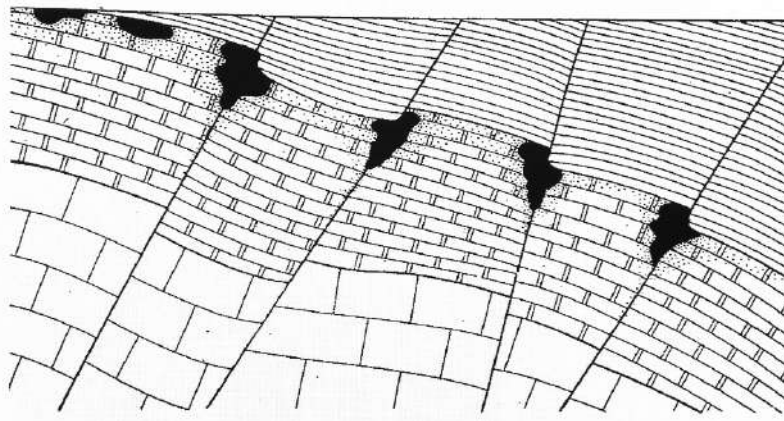


Рис. 3.3. Гнезда руды в минерализованной породе (разрез)

Плоские (плитообразные) тела

Плоские (плитообразные) тела (два протяженных и одно короткое – мощность – направления)

Пласты (Рис. 3.4) – плитообразные согласные тела обычно осадочного (но не всегда! Есть т.н. «пластообразные залежи») происхождения, отделенные от окружающих

пород субпараллельными плоскостями напластования (т.н. «подошвой» или «почвой» и «кровлей» пласта).

Жилы – трещины в горных породах, выполненные минеральным веществом ПИ. Выделяют жилы простые и сложные, четковидные, камерные, седловидные, лестничные и оперенные. Апофизы (ответвления) и зальбанды (контакты в вмещающими породами) жил.

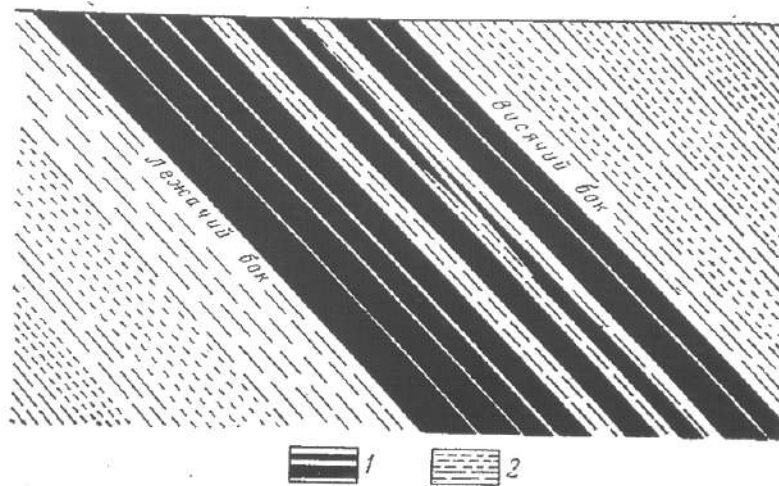


Рис. 3.4. Строение пласта полезного ископаемого (в разрезе): 1-пачки и слои ПИ, 2-прослой породы

Реальный пример – пластовые залежи хромитов в Бушвелдском расслоенном магматическом комплексе (ЮАР). Объект №1 по платиноидам.

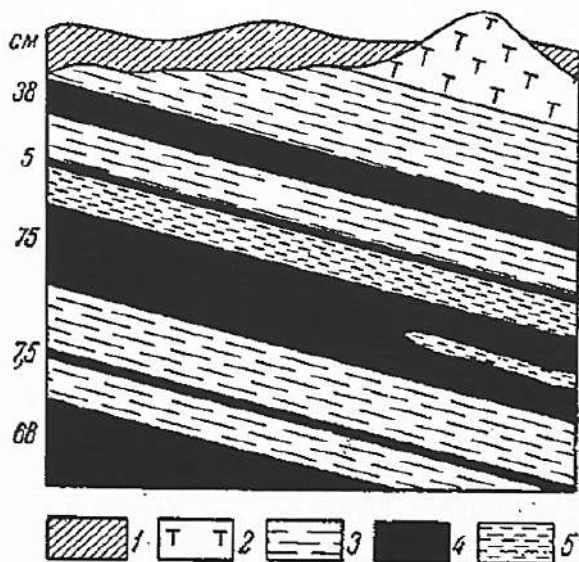


Рис. 3.5. Пластовые залежи хромитов в Бушвелдском расслоенном магматическом комплексе (ЮАР) 1-наносы, 2-анортозиты, 3-диаллаговые габбро, 4-хромиты, 5-бронзито-диаллаговые пород

Другой пример – бокситовое месторождение петропавловской полосы (Рис. 3.6). Наблюдаются пласты бокситов.

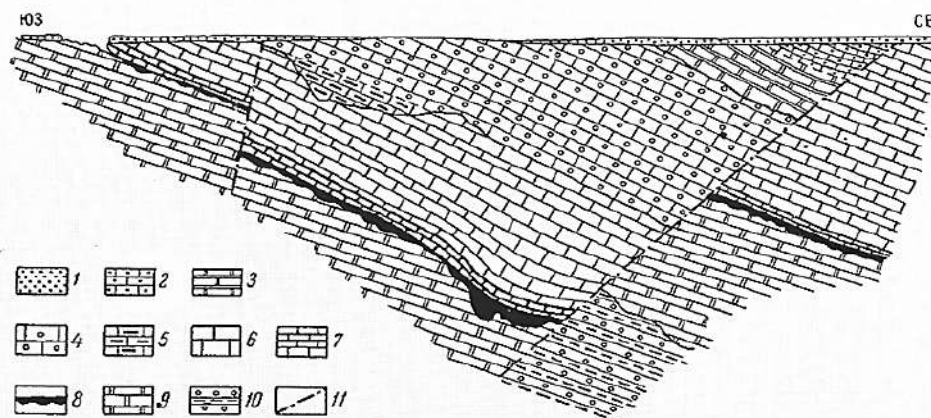


Рис. 3.6. Геологический разрез бокситового месторождения Петропавловско полосы. 1-четвертичные отложения, 2-светло-серые рифогенные известняки, 3-темно-серые битуминозные плитчатые известняки, 4-светло-серые массивные рифогенные известняки и серые толсто плитчатые известняки, 5-темно-серые тонкоплитчатые кремнистые известняки, 6-светло-серые массивные рифогенные известняки, 7-темно-серые битуминозные амфибровые известняки, 8-бокситы, 9-розовые массивные рифогенные известняки, 10-конгломераты, песчаники и сланцы, 11-дизъюнктивные нарушения

Далее рассмотрим месторождение Молодежное (Рис. 3.7), Южный Урал. Линзовидные залежи хромитовых руд в Казахстанской части.

Длина 1,54 км, ширина 200-300 м, максимальная мощность 140м. Запасы руды 90 млн.т. (По Попову и Григорьеву, 1977)

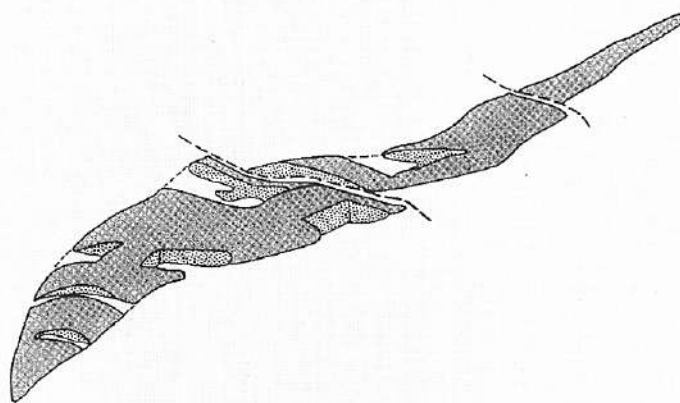


Рис. 3.7. Месторождение молодежное, Южный Урал

У простой жилы выделяются зальбанд висячего бока и зальбанд лежачего бока (Рис.3.8).

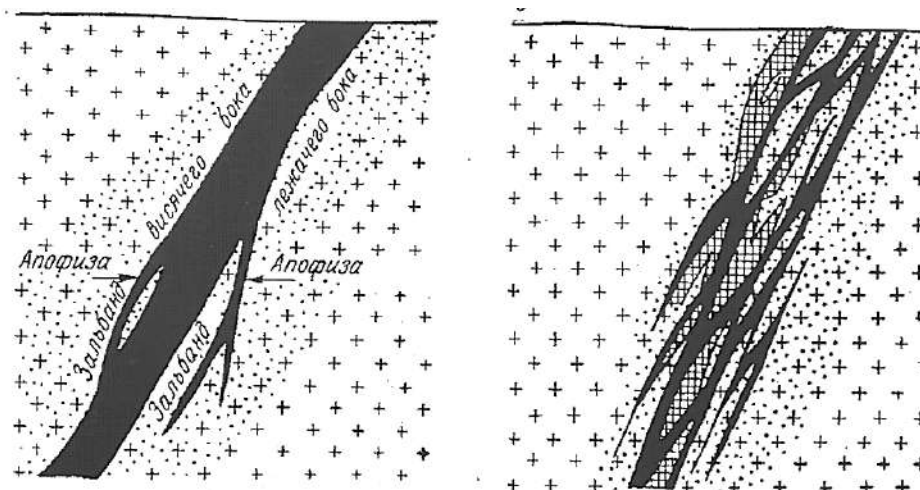


Рис. 3.8. Жилы: простая (слева), сложная (справа). Точками показаны области изменения вмещающих пород.

Для того, чтобы определить положение жилы в пространстве – длина по простиранию, длина по падению, угол падения, азимут простирания трещины и азимут падения жилы, а также необходимо знать склонение жилы.

Реальный пример жилы – Золото-серебряная жила Сан-Рафаэль (Мексика) (Рис. 3.9).

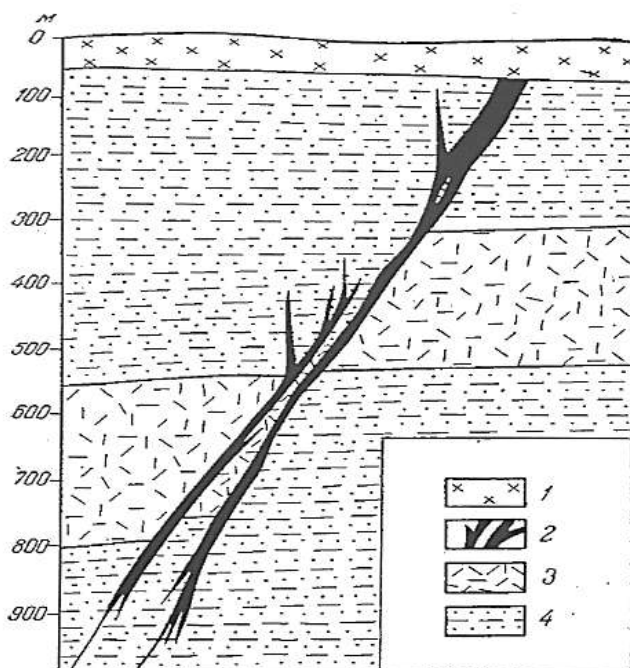


Рис. 3.9. Золото-серебряная Жила Сан-Рафаэль (Мексика), Приуроченная к сбросу (разрез)
1-покров юного андезита,
2-рудная жила,
3-миоценовые интрузивные породы,
4-юрские сланцы и песчаники.

Примеры различных видов жил (Рис. 3.10-3.13).

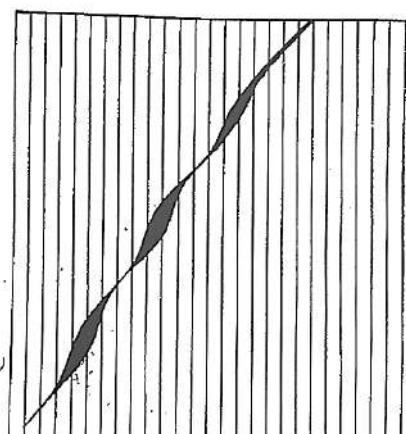


Рис. 3.10. Четковидная жила

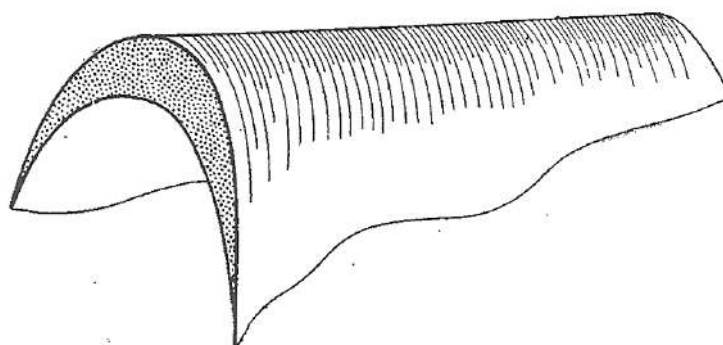


Рис. 3.11. Седловидная жила

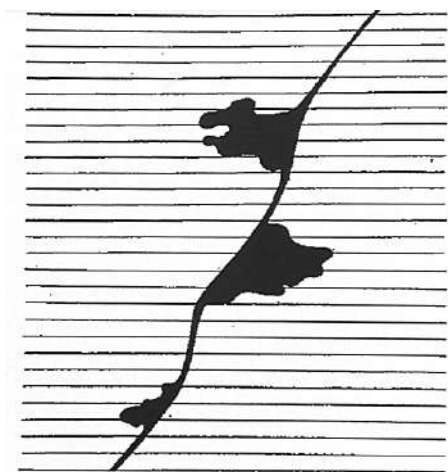


Рис. 3.12. Камерная жила

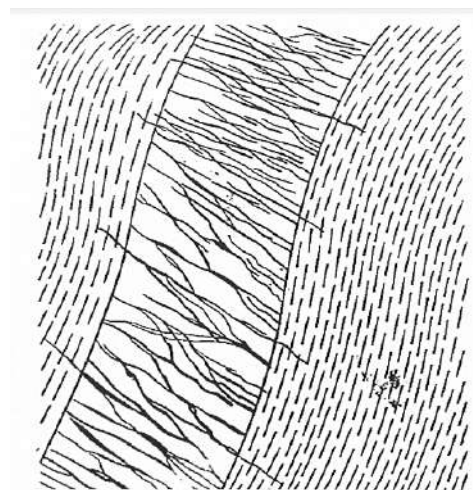


Рис. 3.13. Лестничная жила

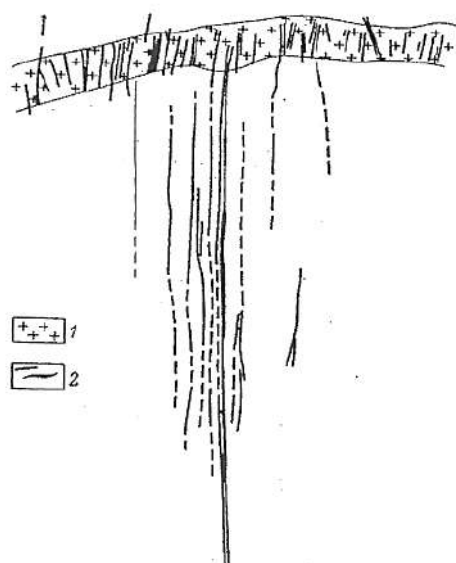


Рис. 3.14. Березовское золоторудное
месторождение (Средний Урал). Лестничные
жилы и свита красичных жил
(по М. Бородаевской и Н.Бородаевском).

1- гранит-порфиры;
2-рудные жилы, лестничные и красичные (фрагмент)

Реальный пример – жильная система на месторождении Бендиго (ЮВ Австрали, пров. Виктория) (Рис. 3.15).

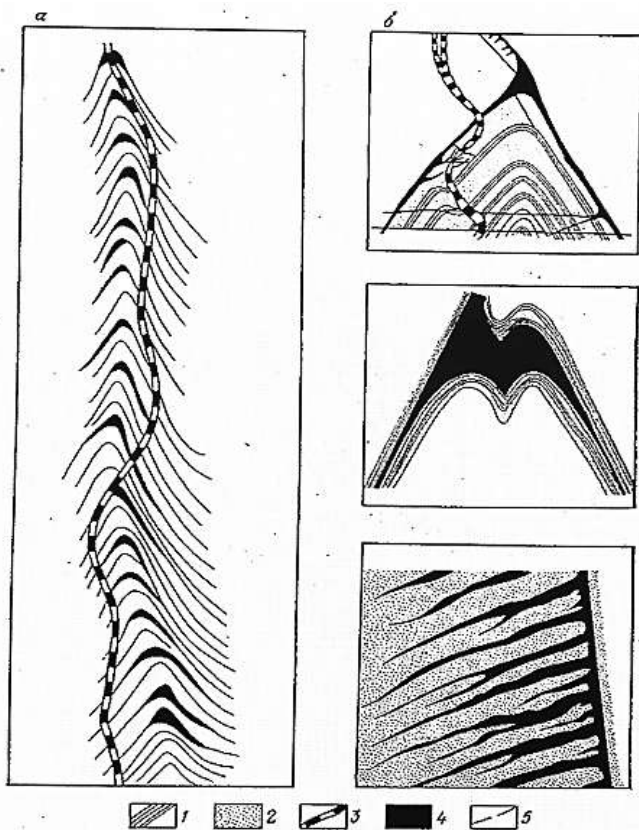


Рис. 3.15. Поперечные разрезы Жильной системы (а) и отдельных жил (б) на месторождении Бендиго (ЮВ Австралия, пров. Виктория)

Условные обозначения:

1-сланцы,

2-песчаники,

3-дайки мончикитов,

4-рудные тела,

5-тектонические нарушения.

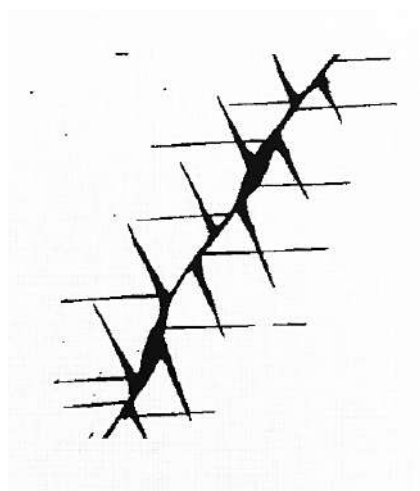


Рис. 3.16. Оперенная жила

Трубообразные тела (вытянутые в одном направлении)

Трубы, трубки, трубообразные залежи – вытянутые в одном направлении вдоль своих осей, их попересные сечение различно-изометричное, эллипсовидное, линзовидное и пр.)

Сложные тела – комбинация вышеуказанных простых форм.

Пример трубообразного тела – кимберлитовая трубка Летсенг-ла-терае (Рис. 3.17).

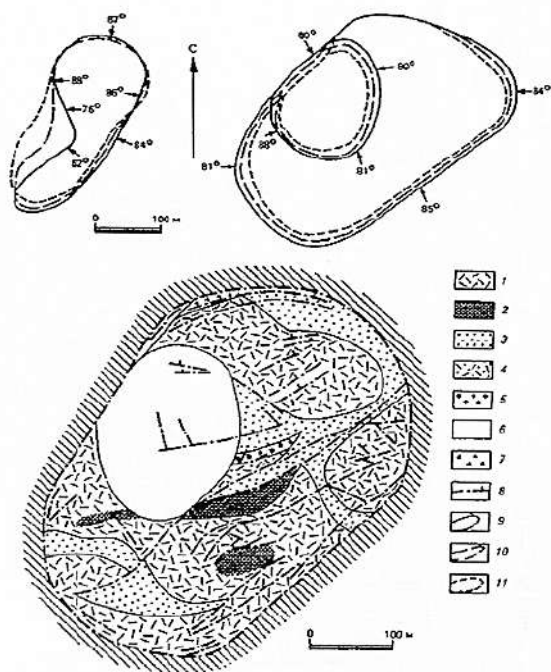


Рис. 3.17. Кимберлитовая трубка Летсенг-ла-терае, Лесото (по Л.Никсону)
Вверху – контуры главной и сателлитной трубок на трех горизонтах.
Внизу – внутренне строение главной трубки на горизонте 60 м от дневной поверхности.
Типы кимберлитов: 1-голубовато-серые, 2-коричневые, 3-серые, 4-неизменные, 5-тонкозернистые дунитовые, 6-зеленовато-серые, 7-темные и темно-серо-зеленые, 8-разломы и их падения.
Геологические контуры: 9-на поверхности, 10-на глубине 75 м, 11- на глубине 160 м

Пример сложного тела (Рис. 3.18).

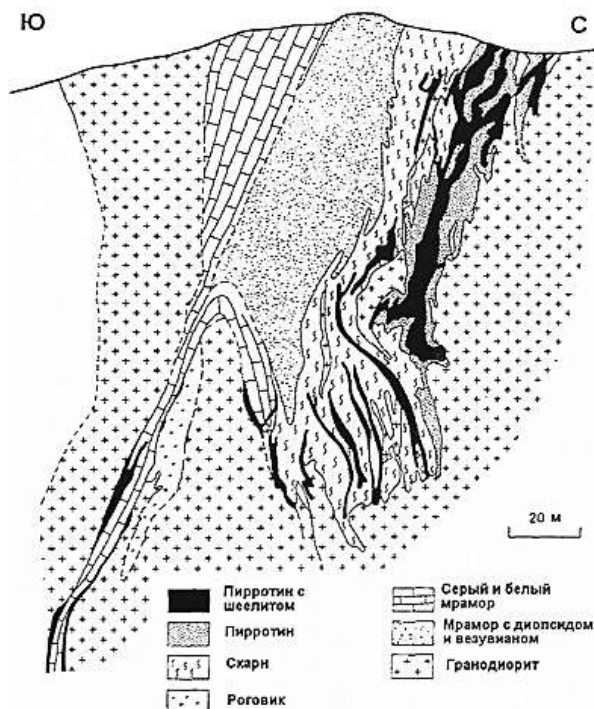


Рис. 3.18. Вольфрамовое месторождение Салаи, Франция

Главный промышленный минерал – шеелит (CaWO_4) рассеян в Po -содержащем геденберит-гранатовом скарне.

Содержание WO_3 -1,5%, запасы руды – 1,3 млн.т. Бедные Po с низкими (непромышленными) содержаниями WO_3 -0,2% в состав рудных тел не включаются.

Другой пример сложного тела – Сарбайское скарновое месторождение железа (Казахстан) (Рис.3.19).

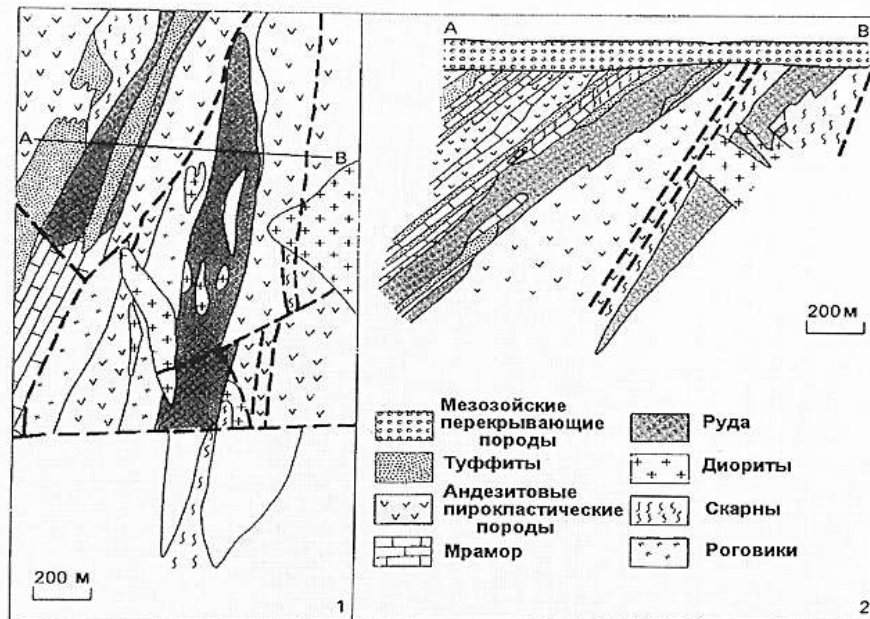


Рис. 3.19. Сарбайское скарновое месторождение железа (Казахстан): 1- план горизонта 80, 2- разрез (по Соколову и Григорьеву, 1977)

Тела твердых тел полезных ископаемых

Помимо своих размеров (длине по простиранию и падению, мощности, площади поперечного сечения и др.) и ориентировки в пространстве (азимуты и углы падения, простирания, склонения, ныряния и др.) различаются по:

- Отношению к первичному напластования или к контактам вмещающих пород на согласные и секущие;
- Характеру выклинивания во вмещающие породы на постепенное, тупое и сложное (расщепление);
- Характеру контактов с вмещающими породами на резкие (четкие) и постепенные (порой устанавливаемые по данным рядового опробования), а по форме – ровные и извилистые;
- Характеру залегания на горизонтальные, пологопадающие, крутопадающие и вертикальные

- Глубине залегания на малоглубинные (приповерхностные, до 100 м) и глубоко залегающие (свыше 100м);
- Возрастному соотношению с вмещающими породами на сингенетические и эпигенетические;
- Способу отложения минерального вещества осаждения, выполнения и метасоматического замещения.

Морфология эпигенетических тел полезных ископаемых предопределяется дорудными и интарудными тектоническими элементами (структурами). Морфология тел полезных ископаемых осложняется пострудными дизъюнктивными и пликативными нарушениями.

Необходимость выявления и детализации формы тел полезных ископаемых

- Теоретическая (генетическая) значимость изучения морфологии тел полезных ископаемых: важное свидетельство механизма их образования и преобразования
- Утилитарная (практическая) значимость изучения тел ПИ: для подсчета запасов и определения рационального метода их отработки

Лекция 4

Химический и минеральный состав месторождений полезных ископаемых

Минерал – природное химическое соединение, физически и химически индивидуализированное, относительно однородное по составу и свойствам, возникшее как продукт природных физико-химических процессов, протекающих на поверхности и в глубинах Земли, Луны и др. планет, обычно являющееся составной частью горных пород, руд и метеоритов.

Химические элементы и минералы как компоненты руд

В рудах металлических и некоторых неметаллических полезных ископаемых ценными компонентами, представляющими промышленный интерес, являются химические элементы (металлы) и их соединения, связанные в определенных минеральных формах (так называемые ценные или рудные минералы, либо минералы – концентраты, минералы – носители ценных компонентов руд).

В месторождениях многих неметаллических полезных ископаемых ценными компонентами являются сами минералы с их ценными утилитарными свойствами (промышленные минералы).

Помимо ценных компонентов в рудах месторождений выделяют также вредные компоненты (металлы и минералы, затрудняющие либо исключаящие дальнейшую переработку и металлургический передел).

Определение химического и минерального состава руд (равно как и их физико-механических и технических свойств) производится широким комплексом аналитических методов исследования образцов, систематически отобранных в ходе геолого - разведочных, горных и др. работ) в результате т.н. опробования (рядового, группового, валового, точечного, бороздового и др.).

подавляющее большинство химических элементов периодической системы химических элементов образуют нашу планету.

В свое время норвежский ученый Виктор Мориц Гольдшмидт (1888-1947) полагал, что для ядра Земли характерна группа сидерофильных элементов, для земной коры – литофильных, для промежуточного слоя – мантии – группа халькофильных элементов, и, наконец, атмосфера представлена группой атмофильных элементов (Рис. 4.1).

Sideros – железо (греч.), chalkos – медь (греч.), litos – камень (греч.), phileo – люблю (греч.).

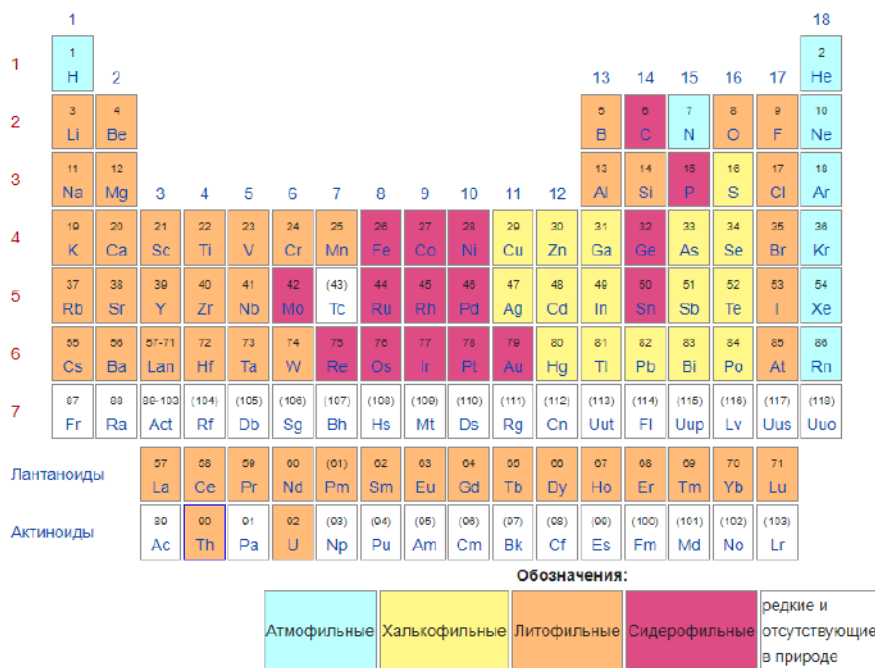


Рис. 4.1. Гольшмидтовская классификация в периодической системе элементов

Классификация месторождений полезных ископаемых

Металлические – месторождения элементов или их соединений, то есть месторождения в минеральной форме, но ценными компонентами являются химические элементы или их соединения. **Неметаллические** месторождения более сложные в этом плане. Ценный минерал здесь – минерал сам по себе, также ценятся определенные кристаллы кварца с высокой огранкой и т.д. Месторождения горных пород – горные породы здесь являются ценными компонентами.

Таблица 4.1. Промышленная систематика месторождений полезных ископаемых (фрагмент) (по Н.П. Ермакову с дополнениями В.И. Смирнова)

Металлические	Неметаллические						Горючие		Гидро- и газоминеральные
М-ния элементов или их соединений (А)	М-ния минералов (Б)		М-ния кристаллов (В)		М-ния аморфных и скрытокристаллических веществ (Г)	М-ния горных пород (Д)		М-ния жидкостей и газов (Е)	
(А)	(Б1)	(Б2)	(В1)	(В2)	(Г)	(Д1)	(Д2)	(Е1)	(Е2)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

(А) Руды металлов. (Б1) Metallургическое и теплоизоляционное сырье. (Б2) Химическое и агрономическое сырье. (В1) Техническое сырье и драгоценные камни. (В2) Пьезооптическое сырье. (Г) Подделочное сырье и цветные камни. (Д1) Строительные материалы и стекльно-керамическое сырье. (Д2) Твердое топливно-химическое сырье. (Е1) Топливо-химическое сырье. (Е2) Рассолы, воды и газы.

Металлические полезные ископаемые

1. Черные металлы (Fe, Mn, Cr, V, Ti)
2. Легирующие металлы (Ni, Co, W, Mo, etc.)
1,2-Iron and ferroalloy metals
3. Цветные металлы (легкие: Mg, Al; тяжелые: Cu, Pb, Zn, Sb, Sn, Hg)
3-Non-ferrous metals, причем Cu, Pb, Zn, Sn – base metals
4. Благородные металлы (Au, Ag, PGM: Pt, Pd, Os, Ir, Ru, Rh)
4-Precious (nobel) metals
5. Радиоактивные металлы (U, Ra, Th)
5-Fissionable metals
6. Редкие и рассеян. Металлы (Bi, Zr, Nb, Ta, Ga, Ge, Cd, In)
7. Редкоземельные металлы (La, Ce, Yb, Pm, Sm, Lu, etc.)
6,7-Minor metals and related nonmetals

Пример: месторождения Co-содержащих сульфидных Cu-Ni руд связаны с ультраосновными и основными образованиями, значительная часть Co в виде изоморфной примеси и тонких сростаний с другими минералами. Основные кобальтосодержащие минералы: пентландит (Fe, Ni, Co)₉S₈ (до 3% Co), кобальтпентландит (Co₉S₈) (до 67% Co), кобальтистый пирит (Fe, Co)S₂ (до 3% Co).

Содержание Co в рудах, %	Месторождения (примеры)
0,06-0,11	Норильск – 1-2, Талнах, Печенга, Мончегорск, Риф Меренского (ЮАР), Камбалда (Австралия) и др.

Медно-Никелево месторождение Норильск -1. На (Рис. 4.2) представлен силл габро-долеритов и долеритовые силлы в коружении пород пермо-трасовой вулканической серии. Зона вкрапленных руд в составе габбро-долеритового силла, зона сплошных и брекчиевых руд в его подошве. Главные рудные (ценные) минералы, составляющие основную массу сплошных руд: пентландит, халькопирит, пирротин и магнетит. Происхождение – методом ликвации, когда магма в жидком состоянии разделялась на силикатную и сульфидную (более тяжелую) часть.

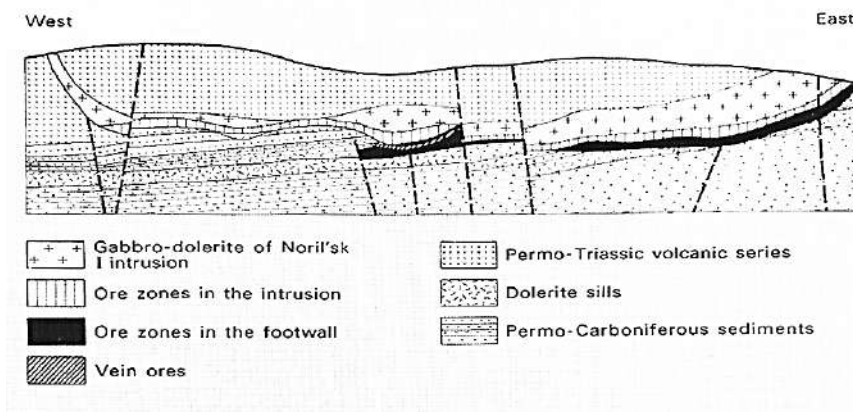


Рис. 4.2. Медно-Никелевое месторождение Норильск – I (вертикальный разрез запад-восток)

Неметаллические полезные ископаемые

1. Агрохимическое сырье (S, P, K, Cl, B, F, Na, Mg)

Горные породы, из которых извлекают указанные химические элементы и их соединения, то есть это самородная сера, соли, апатиты, фосфориты и др.

2. Индустриальное (техническое) сырье

Минералы, обладающие ценными промышленными свойствами; графит, асбест, слюда, тальк, флюорит, барит, цеолиты и др.

3. Пьезооптическое и камнесамоцветное сырье

Кристаллы и их агрегаты; пьезокварц, оптический кварц, оптический флюорит, исландский шпат и др; драгоценные и поделочные камни.

4. Горные породы как естественные стройматериалы и как сырье для их производства: пески, глины, граниты, базальты, известняки, доломиты, опоки, шунгиты, кварциты, амфиболиты и др. осадочные, магматические и метаморфические породы.

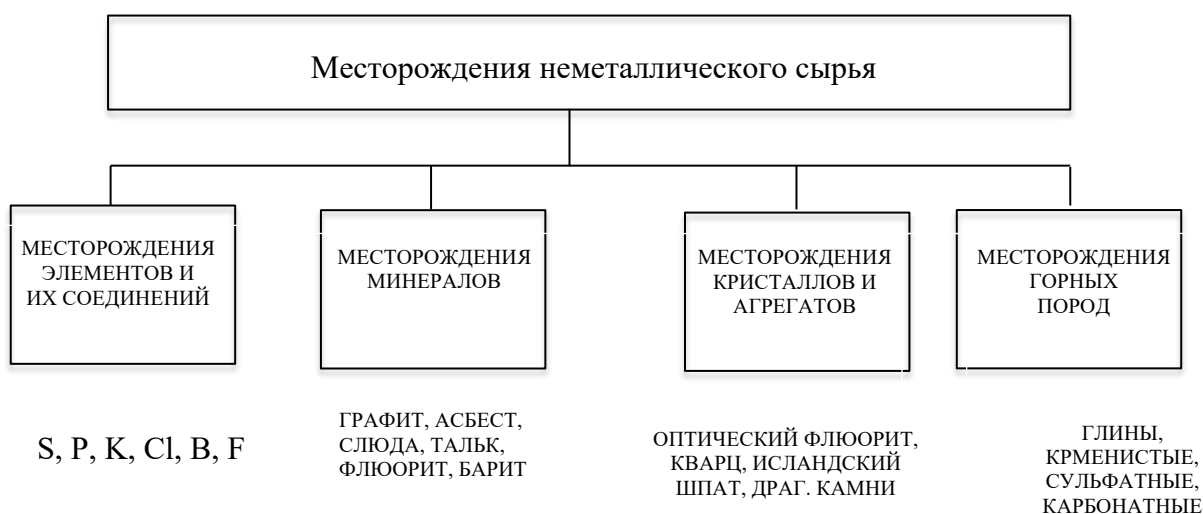


Рис. 4.3. Месторождения неметаллического сырья

Ценными компонентами месторождений этого сырья в первом случае являются **химические элементы** (связанные в определенной минеральной форме), во втором – **промышленные минералы** (их утилитарными свойствами), в третьем – **монокристаллы и агрегаты**, в четвертом – **горные породы** (как естественные стройматериалы и сырье для их производства, а также как огнеупоры и др)

Частные примеры индивидуальных месторождений (Таблица 4.3)

Таблица 4.3. Запасы и средние содержания металлов некоторых цинково-свинцово-медных колчеданных месторождений мира

Месторождение (локализация)	Возраст	Запасы руды, млн	Cu, %	Zn, %	Pb, %	Ag, г/т	Au, г/т
Баченс (Ньюфаундленд)	S	>14	1,36	14,88	7,70	107	1,3
Асналькольяр (Иберийский пиритовый пояс)	C ₁	>45	0,44	3,33	1,77	67	1
Эррингтон и Вермиллон (Онтарио)	Pt	16	1,13	4,00	0,84	47,4	5,2
Розбери (Тасмания)	Э	>>16,5	0,56	18,2	5,6	187	3,8
Учиногаи («Район зеленых туфов», Япония)	N	9,2	2,5	4,2	1,3	160	0,8
Артемьевское (Рудный Алтай)	D ₂	15,5	2,12	8,17	2,29	150	1,6

Ценными компонентами руд этих месторождений обычно являются медь, цинк и свинец (главные), а также золото и серебро (попутные), нередко в них также присутствуют барит и другие промышленные минералы.

Пример - Риддер-Сокольное месторождение. Минеральный состав этих руд: главные минералы: галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, много кварца, доломита. Редкие минералы – гематит, марказит и др.

Некоторые важнейшие рудообразующие ценные (рудные) минералы

1. Оксиды и гидроксиды

- Fe₃O₄ – магнетит, Fe₂O₃ – гематит, FeO(OH) – гетит
- AlO(OH) – диаспор, Al(OH)₃ – гиббсит, FeCr₂O₄ – хромит
- SnO₂ – касситерит, MnO(OH) – манганит, MnO₂ – пиролюзит

- FeTiO_3 – ильменит, TiO_2 – рутил, UO_2 – уранинит
- 2. Силикаты**
- $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ – мусковит, $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$ – флогопит
- $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ -талек, $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ – хризотил
- $(\text{Ni}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – гарниерит, ZrSiO_4 – циркон
- 3. Сульфиды и близкие им соединения**
- CuFeS_2 – халькопирит, CuFeS_4 – борнит, Cu_2S – халькозин
- PbS – галенит, ZnS – сфалерит, CoAsS – кобальтин
- Bi_2S_3 – висмутин, Sb_2S_3 -антимонит, HgS -киноварь, $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$ -пентландит
- 4. Карбонаты**
- FeCO_3 – сидерит, ZnCO_3 – смитсонит, MgCO_3 – магнезит
- $\text{Cu}_2(\text{CO})_3(\text{OH})_2$ – малахит, PbCO_3 – церуссит, MnCO_3 – родохрозит
- 5. Сульфаты**
- PbSO_4 – англезит, BaSO_4 – барит,
- SrSO_4 – целестин, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – гипс
- 6. Фосфаты**
- $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$ – апатит, $(\text{Ce}, \text{Th}, \text{La})\text{PO}_4$ – монацит
- 7. Галоиды**
- NaCl – галит, KCl – сильвин, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – бишофит
- 8. Самородные элементы**
- Au – золото, Ag – серебро, Cu – медь
- C(куб) – алмаз, C(гекс) – графит, Pt-платина

Так как практическое содержание отдельных металлов в их главных минералах-носителях будет всегда разным, рассчитываются теоретическое содержание из нереальной ситуации (Таблица 4.4).

Таблица 4.4. Теоретические содержания отдельных металлов в их главных промышленных минералах-носителях

Минералы	Химические элементы (мас. %%)						
	Fe	Cr	Al	Pb	Zn	Cu	Sn
Магнетит – Fe_3O_4	72,36						
Гематит – Fe_2O_3	69,4						
Гетит – FeOOH	62,86						
Сидерит – FeCO_3	48,39						
Магнохромит -		49,98					

Гиббсит – Al(OH) ₃			34,6				
Диаспор - AlOОН			44,98				
Галенит – PbS				86,6			
Сфалерит – ZnS					67,06		
Халькопирит – CuFeS ₂						34,56	
Борнит – Cu ₅ FeS ₄						63,33	
Халькозин – Cu ₂ S						79,86	
Касситерит – SnO ₂							78,77

Итак:

Концентрация ценных компонентов (химических элементов, их минералов-концентраторов, промышленных минералов) в полезном ископаемом (руде) – определяющий (но не единственный!) показатель его качества.

Руды богатые, рядовые, бедные.

Различие минералов-концентраторов для одного и того же металла и их парагенезисы с другими минералами – свидетельство отличающихся геологических, физико-химических и др. обстановок образования и преобразования руд. Пример: халькопиритовые (гипогенные) и халькозиновые (гипергенные) медные руды.

Лекция 5

Структуры и текстуры руд

Структура определяется формой, размерами и взаимоотношениями зерен минералов (равномернозернистая, неравномернозернистая, пластинчатая, волокнистая, зональная, кристаллографически ориентированная, тесного срастания, замещения, колломорфная, сферолитовая, обломочная).

Текстура определяется формой, размером и взаимоотношением агрегатов зерен минералов (массивная, пятнистая, полосчатая, прожилковая, сфероидальная, почковидная, дробления, пустотная, каркасная, рыхлая).

Структуры руд

По форме зерен подразделяются на:

- идиоморфнозернистые с совершенной кристаллической огранкой минералов,
- гипидиоморфнозернистые с элементами граней и вершин кристаллов,
- аллотриоморфнозернистые с зернами, практически лишенными кристаллических форм.

По размерам зерен выделяют 6 типов структур:

- грубозернистую ($> 10-20$ мм; ручная рудоразборка),
- крупнозернистую (>2 , для Au $> 0,2$; гравитационное обогащение),
- среднелкозернистую (0,2-2; гравитационное и флотация),
- тонкодисперсную (0,002-0,02),
- субмикроскопическую ($<0,002$);

(два последних типа не обогатимы; возможно выщелачивание из руды или металлургическая плавка; для Au, Ag – цианирование)

Для большинства руд металлических полезных ископаемых размер зерен во многом определяет схему их технологической переработки и, прежде всего, предельного измельчения руд

Структуры срастания также во многом определяют технологические сорта руд. Если рудные и нерудные минералы только соприкасаются, то потери при измельчении ценных минералов будут минимальными. В случае контактов прорастания значительная часть рудных минералов при дроблении будет теряться. Если же имеются структуры включения рудного минерала в нерудный или менее ценный рудный, тогда потери при дроблении и измельчении будут максимальными. Примером структур: прорастания может быть сидеронитовая, а структур включения – эмульсионная и распада твердых растворов.

Различным генетическим типам месторождений свойственны соответствующие структуры руд: для позднемагматических месторождений типична **сидеронитовая структура**, для пегматитов характерна **графическая**, в рудах гидротермальных месторождений развиты **крустификационные, дробления, прожилковые** и др. В осадочных рудах наиболее часто встречаются **слойчатые, биогенные или конкреционные структуры**. Для гипергенных руд характерны **коррозионные структуры**.

Идиоморфнозернистая структура

Зерна четко оформлены (Рис. 5.1).

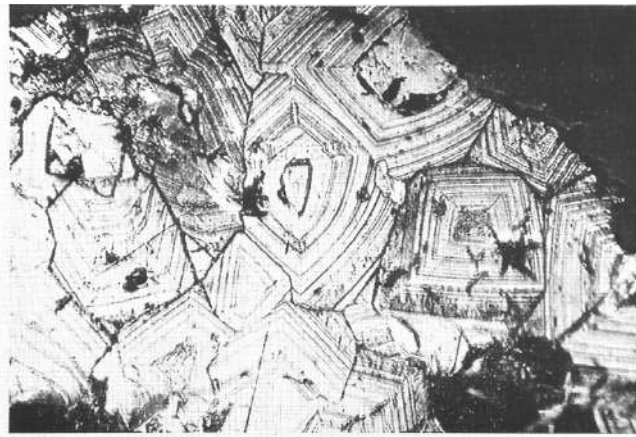


Рис. 5.1. Идиоморфнозернистая структура агрегата повеллита – $\text{Ca}(\text{MoO}_4)$.
Месторождение Каджаран, Армения. (По Исаенко, 1983)

Гипидиоморфнозернистая структура

Минералы индивидуализированы. Зерна имеют менее четкий кристаллографический облик (Рис. 5.2).

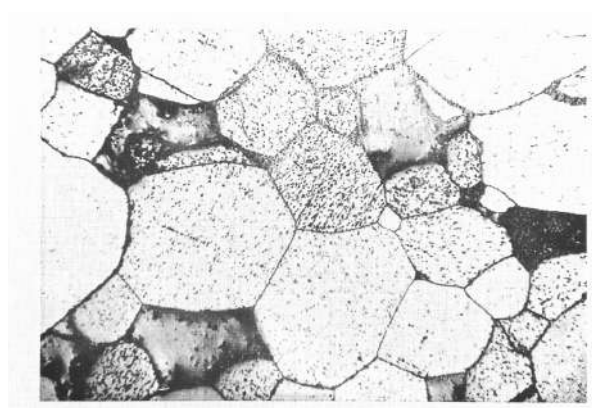


Рис. 5.2. Гипидиоморфнозернистая структура. Промежутки между идиоморфными зернами пирита (белое, шагреневое) выполнены неправильными по форме выделениями халькопирита и кварца (черное). Анилиф (по Исаенко, 1983)

Аллотриоморфнозернистая структура

Зерна имеют неясную форму, далекую от кристаллографической правильной (Рис. 5.3).

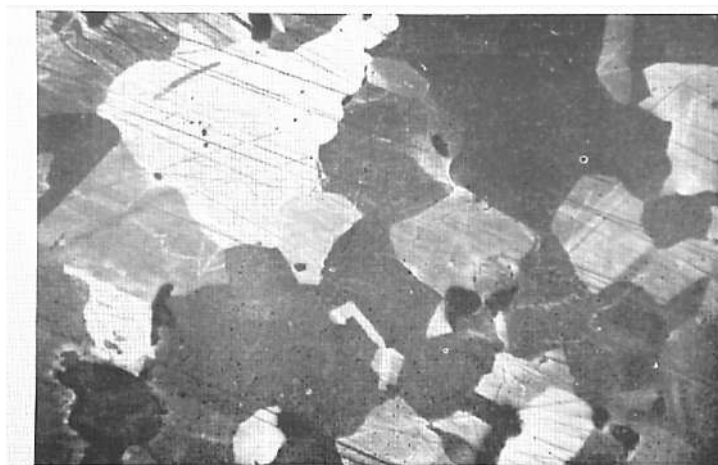


Рис.5.3. Аллотриоморфнозернистая структура халькопирита. Анилиф протравлен в парах царской водки. Месторождение Дастакерт в Армении (по Исаенко, 1983)

Сидеронитовая структура

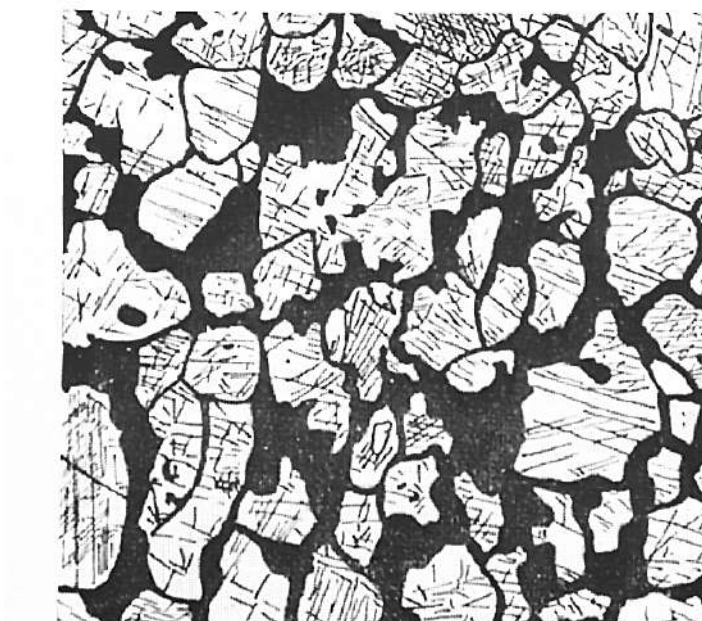


Рис. 5.4. Сидеронитовая структура. Идиоморфные и гипидиоморфные зерна титаномангнетита (черное) срастаются с аллотриоморфными зернами титаномангнетита (зашихованы) срастаются с аллотриоморфными зернами титаномангнетита (черное). Прозрачный шлиф (по Исаенко, 1983)

Пластинчатая и решетчатая структуры

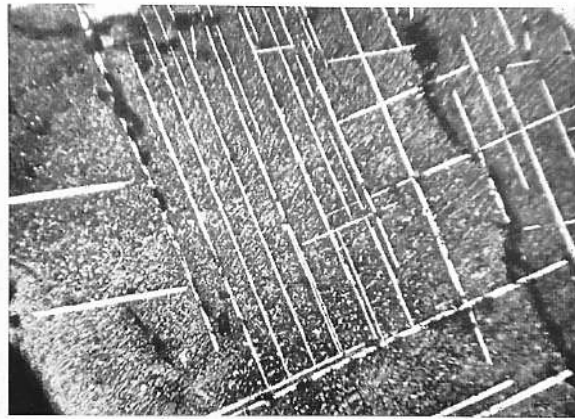


Рис. 5.5. Пластинчатая и решетчатая структуры распада твердого раствора магнетит (серое) + ильменит (белое). Анилиф после травления HCl. Месторождение Алексеевское в Забайкалье, Россия (по Исаенко, 1983)

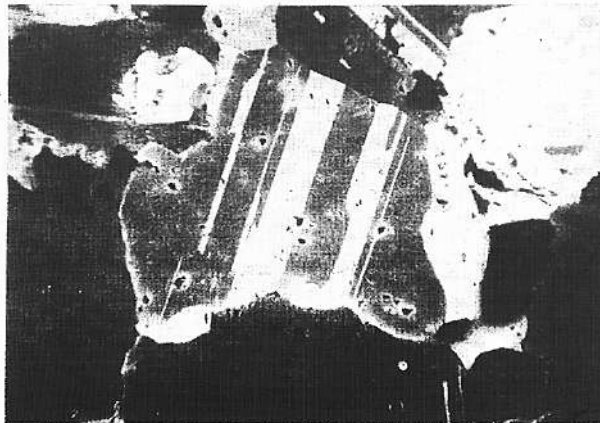


Рис. 5.6. Зерно сфалерита с двойниками роста. Протравлено в парах царской водки, полированный шлиф. Месторождение Садон на Кавказе. Ровные двойники в зернах – следовательно кристалл рос в спокойных условиях



Рис. 5.7. Полисинтетические двойники давления в халькопирите. В центре – прожилок перекристаллизованного халькопирита. Месторождение Ахтала, Армения. Полированный шлиф

Текстуры руд

Текстура – строение рудной массы, обусловленное формой, ориентировкой, пространственными соотношениями и размерами минеральных агрегатов, слагающих руду. Таким образом, морфологической единицей текстуры является минеральный агрегат.

Текстура возникает в руде в процессе ее образования и отражает многие важные особенности формирования месторождений.

По размерам минеральных агрегатов различают три порядка текстур:

- мегатекстуры (крупные минеральные агрегаты, наблюдаемые в обнажениях, горных выработках),
- макротекстуры (различаются в образцах),
- микротекстуры (наблюдаются под микроскопом).

Текстуры руд разделяются на десять групп с различным количеством видов (классов) внутри каждой группы. Рудам месторождений различных генетических классов свойственны определенные типы текстур.

Таблица 5.1. Морфологические группы и классы текстур руд (по В.И. Смирнову, 1989 с изменениями)

<i>Группа</i>	<i>Класс</i>	<i>Краткая характеристика</i>
Массивная	Массивная	Сплошная рудная масса
Пятнистая	Такситовая Вкрапленная	Пятнистые агрегаты в нерудной массе Вкрапленность рудных минералов (агрегатов)
Полосчатая	Полосчатая	Чередование полос различного состава Чередование рудных осадочных слоев (иногда с нерудными) Рудные слои линзовидной формы Рудные полосы Признаки течения рудного вещества Характерная для метаморфических образований Рудные полосы смяты в мелкие сложные складки Симметричные или асимметричные агрегаты субпараллельных кристаллов, расположенные поперек плоскости жилы
	Слоистая	
	Линзовидная	
	Ленточная	
	Флюидальная	
	Гнейсовидная	
Сланцевая	Сланцевая	
	Площчатая Крустификационная (гребенчатая)	
Прожилковая	Колломорфная	Неравномерно натечные формы Субпараллельно натечные формы
	Корковая	
Сфероидальная	Нодулярная	Крупные овоидные выделения агрегатов магматического генезиса Розетковидные агрегаты кристаллов Кристаллы внутри полостей
	Кокардовая	
	Друзовая	

	Лучистая Секретионная (жеодовая, миндалекаменная) Оолитовая Бобовая Конгломератовая	Сноповидные агрегаты Рудные агрегаты внутри мелких полостей Мелкие концентрические выделения Овоидные выделения размером от 1-2 мм до 2-3 см Округлые обломки
Почковидная	Колломорфная Корковая	Неравномерно натечные формы Субпараллельно натечные формы
Дробления	Брекчиевая Брекчиевидная Петельчатая	Совокупность остроугольных обломков и цемента Обломки угловато-округлые Мелкие угловато-вытянутые рудные агрегаты в цементе мелко подробленных (катаклазированных) пород
Пустотная	Пористая Пузырчатая Сотовая	Характерны для зон окисления месторождений
Каркасная	Ячеистая Каркасно-губчатая Каркасно-ящичная	
Рыхлая	Землистая Порошковая	Характерны для зон окисления месторождений и осадочных руд

Крустификационная текстура

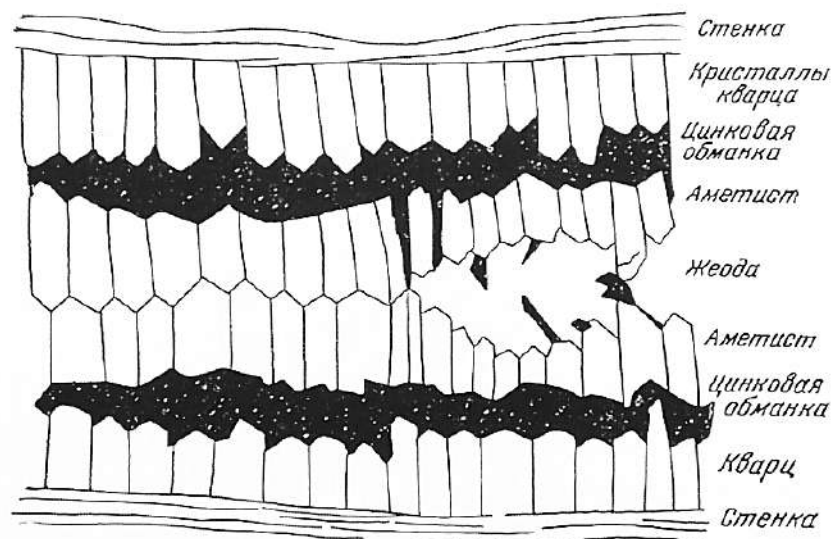


Рис. 5.8. Симметричная крустификационная текстура по А.М. Бетману (Исаенко, 1983)
(аметист-фиолетовая разновидность кварца, цинковая обманка – сфалерит)

Плойчатая текстура

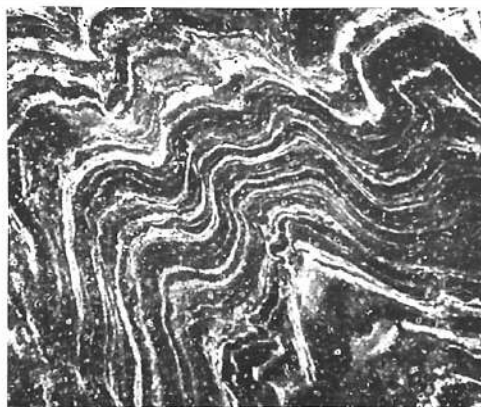


Рис. 5.9. Плойчатая текстура железных руд железистых кварцитов. Сложно смятые слои представлены кварцем (светлое) и магнетитом (серое и черное)

Полосчатая текстура

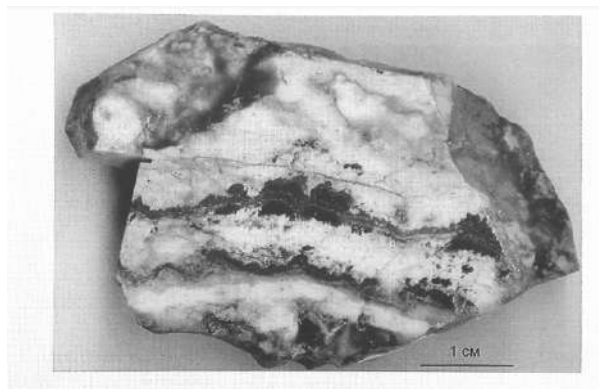


Рис. 5.10. Полосчатая текстура золотосеребряной руды Карамкенского месторождения, Россия. Золото и сульфосоли в адуляр-кварцевой жиле (по Константинову и др, 2000). Адуляр – прозрачная разновидность ортоклаза (Калиевый полевой шпат)

Прожилковая текстура

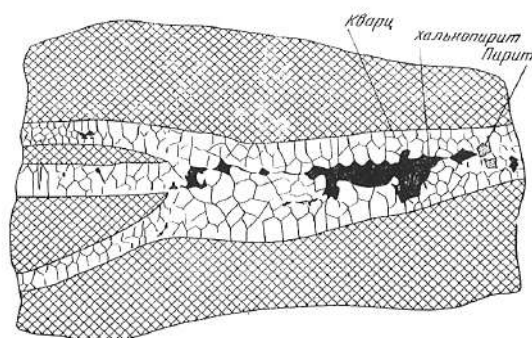


Рис. 5.11. Прожилковая параллельная текстура кварц-халькопирит-пиритового агрегата в порфирите (сетка). Дастакертское месторождение, Армения (по Исаенко, 1983)

Нодулярная текстура

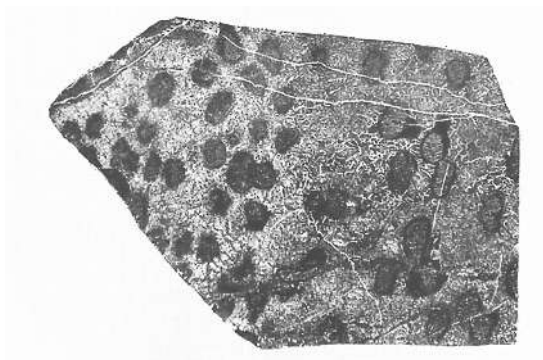


Рис. 5.12. Нодулярная текстура хромитовых руд. Округлые темно-серые выделения хромита (нодули) имеют кайму закаливания и погружены в светлую основную массу серпентинизированных дунитов. Прожилковые выделения магнетита (белое). Сарановское месторождение, Россия. (по Исаенко, 1983)

Полосчатая текстура

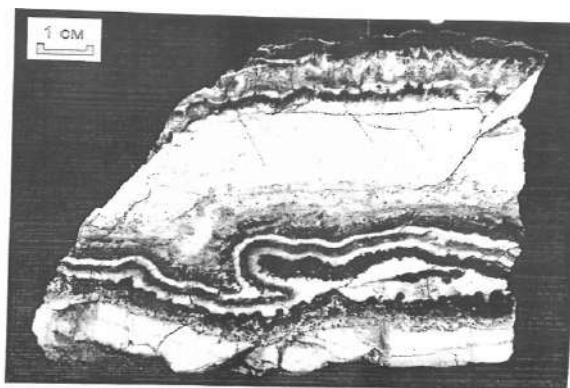


Рис. 5.13. Полосчатая текстура золотой руды. Месторождение Карамкен СВ России. Белое – адуляр + кварц; темное – рудные минералы: пирит, халькопирит, сфалерит, канфильдит и др. (из коллекции Шишаковой)

Брекчиевая текстура

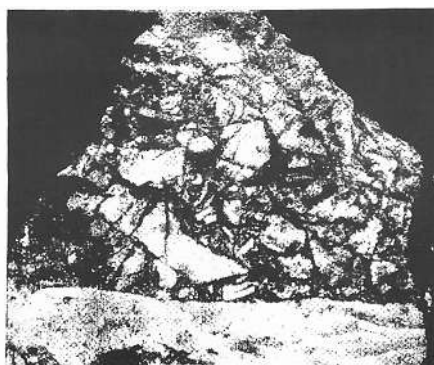


Рис. 5.14. Брекчиевая текстура. Угловатые обломки карбонатной породы (белое) сцементированы киноварью (серое). Чаган-Узун, Алтай

Псевдобрекчиевая текстура

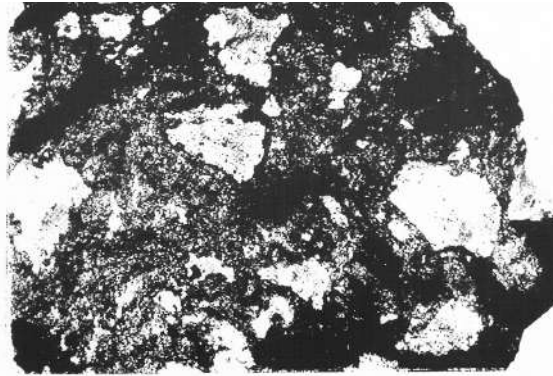


Рис. 5.15. Псевдобрекчиевая текстура. Результат замещения туфобрекчии сульфидами; обломки эффузивной породы с резкими следами разъедания. Сибайский рудник, Юж. Урал

Натечная текстура

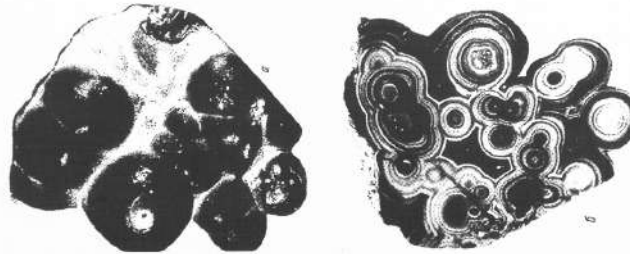


Рис. 5.16. Натечная метакolloидная текстура малахита – Урал. Слева – натуральная почковидная поверхность, справа-отполированная обратная сторона

Итак:

- Для большинства руд металлических полезных ископаемых размер зерен во многом определяет схему их технологической переработки, и, прежде всего, предельного измельчения руд.
- Структуры срастания во многом определяют технологические сорта руд: рудные и нерудные (жильные) минералы соприкасаются – потери при измельчении минимальны; контакты прорастания – значительная часть рудных минералов при дроблении теряется; включения рудного минерала в нерудный – потери при дроблении и измельчении максимальны. Пример структур прорастания – сидеронитовая. А структур включения – эмульсионная и распада твердых растворов.
- Внутренняя структура зерен (двойники, зональность, эмульсия и пр.) и все разнообразие текстур – прямые свидетельства сложного и длительного процесса формирования руд.
- Текстуры возникают в руде в процессе ее образования и отражают многие важные особенности ее формирования.

Лекция 6

Этапы и стадии минералообразования

А также, длительность и глубина формирования, источники минерального вещества и способы его отложения

Этап - длительный период минералонакопления одного генетического процесса, например, магматического, пегматитового, гидротермального или супергенного.

Обычно месторождения полезных ископаемых формируются в один этап, реже в два и более. Примером последнего могут служить верхние части рудных тел, в контурах которых находятся минеральные массы глубинного (например, гидротермального) и супергенного (обусловленного выветриванием) этапов.

Стадия - период времени в рамках одного этапа, в течение которого происходило накопление минералов определенного состава, отделенный перерывом минерализации от других стадий.

Критериями для выделения стадий накопления вещества полезного ископаемого служат:

- пересечения ранних минеральных образований жилами и прожилками минерального вещества последующих стадий;
- брекчирование минеральных агрегатов ранней стадии с цементацией их обломков минеральной массой новых (более поздних) стадий.

Парагенезис (парагенетическая минеральная ассоциация) – совместное нахождение минералов, обусловленное общностью происхождения.

Минеральные генерации - минеральные ассоциации последовательных стадий минералонакопления,

В таких генерациях минеральный состав может быть полностью различным, целиком одинаковым или частично повторяться. В последних двух случаях говорят о нескольких генерациях одного и того же минерала (например, пирит первой и второй генераций).

Брекчиевая текстура

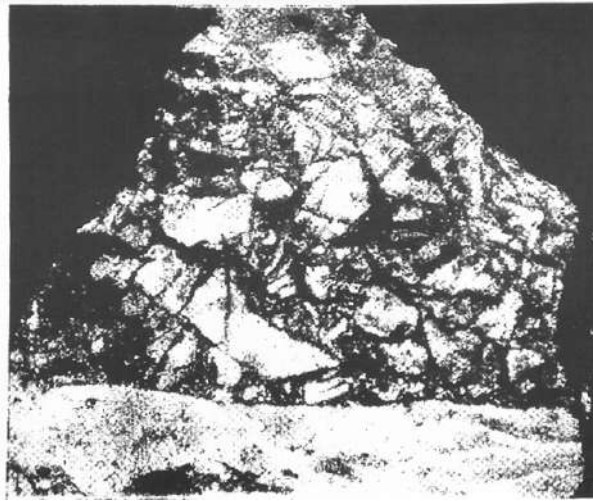


Рис. 6.1. Брекчиевая текстура, угловатые обломки карбонатной породы (белое) сцементированы киноварью (серое). Чаган-Узун, Алтай

Более ранняя стадия – это то, что находится в обломках (Рис. 6.1), более поздняя – то, что тёмное.

Полосчатая текстура

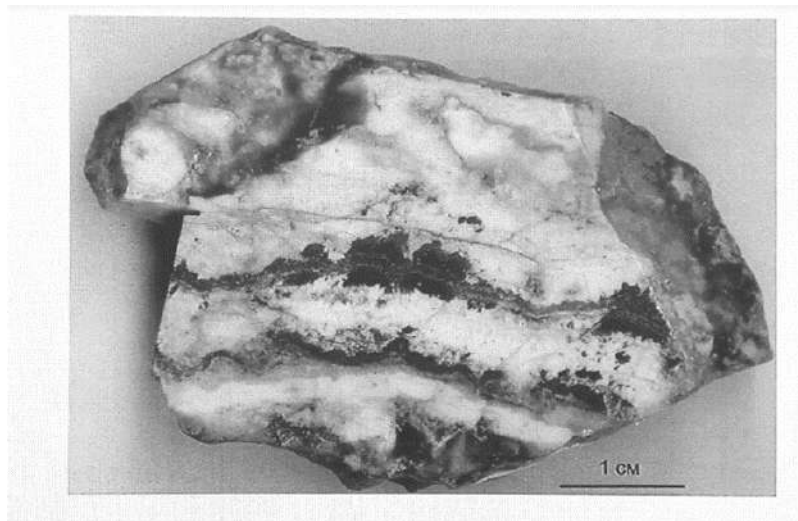


Рис. 6.2. Полосчатая текстура золотосеребряной руды Карамкенского месторождения, Россия. Золото и сульфосоли в адуляр-кварцевой жиле (по Константинову и др, 2000. Адуляр – прозрачная разновидность ортоклаза (калиевый полевой шпат)

Золото и сульфосоли (тёмные полосы) (Рис. 6.2) - рассекающие более поздние.

Осадочные месторождения по стадильному принципу (О.В. Япаскурт) ранжируются как **конседиментационные**, то-есть возникшие в основном в процессе накопления (седиментации) осадочного вещества (это:

- механические осадки - галечники,
- гравий, пески, россыпи;
- часть химических - соли, некоторые руды (Al, Mn),

постседиментационные, то-есть образовавшиеся после завершения седиментации, но до начала метаморфических изменений горных пород.

Многие из химических, биохимических осадков и глины относятся к этой категории условно, так как процесс генерации полезных ископаемых, как правило, многостадийный, и обогащение рудным веществом, приобретение ими необходимых свойств и кондиционности зачастую продолжается и полностью реализуется во время диагенетического превращения осадка в горную породу. Поэтому для большинства таких осадочных месторождений, как фосфориты, глины монтмориллонитовые, каолиновые и др., руды Fe, Mn и др. целесообразнее говорить о них как о **конседиментационно-диагенетических**.

Стадийное развитие литогенеза (По Н.М.Страхову)

Осадки - продукты, отложившиеся в результате физических, химических и биологических процессов, ещё не превращенные в горную породу и лежащие на поверхности в зоне современного осадконакопления.

Диагенез - преобразование (перерождение) осадка в горную породу.

На ранней стадии диагенеза вначале (в окислительных условиях) образуются аутигенные минералы - глауконит, фосфаты, цеолиты, опал и др.;

На поздней стадии диагенеза (в восстановительных условиях) образуются аутигенные карбонаты, фосфаты, силикаты и сульфиды Fe, Pb, Zn, Cu и др. тяжелых металлов, карбонаты и фосфаты Mn. На поздней стадии диагенеза аутигенные минералы перераспределяются, образуя сгущения, линзы конкреции и пр. (образование кальцитовых, доломитовых, сидеритовых, кремневых, пиритных и др. стяжений).

Катагенез - интенсивное уплотнение осадочной породы (частично литифицированного осадка) под влиянием возрастающего давления и частичное преобразование устойчивых, главным образом терригенных и частично аутигенных минералов. //неметаморфизованная осадочная порода//

Метагенез - перекристаллизация аутигенных минералов и глинистого вещества, растворение и кристаллизация под давлением главных породообразующих минералов неметаморфизованной осадочной породы. // метаморфизованная осадочная порода: глинистые сланцы, кварцито-песчаники, кварциты; кристаллические известняки и доломиты и др.

Таблица 6.2. Стадийное развитие литогенеза (по Н.М. Страхову)

1. Стадия седиментогенеза	Этап 1. Мобилизация веществ в коре выветривания Этап 2. Перенос веществ и осадкообразование на водосборных площадях Этап 3. Осадкообразование в конечных водоемах стока	Литогенез
2. Стадия диагенеза (превращение осадков в породы)	Этап 1. Окислительное минералообразование в группе малоустойчивых компонентов осадка Этап 2. Восстановительное минералообразование в той же группе Этап 3. Перераспределение аутигенных минералов и возникновение стяжений; локальное уплотнение осадков	
3. Стадия катагенеза	Региональная литификация пород под влиянием главным образом усиливающегося давления; частичное преобразование устойчивых, преимущественно терригенных и частью аутигенных компонентов породы	Метагенез
4. Стадия протометаморфизма	Глубокие минералогические преобразования вещества осадочных пород, их структуры и текстуры под влиянием главным образом температуры	

Длительность формирования месторождений

Месторождения полезных ископаемых формировались достаточно длительное время, соизмеримое с геологическим временем образования комплексов горных пород.

Наиболее ясно этот вопрос решается для месторождений осадочных полезных ископаемых: солей, углей, осадочных железных и марганцевых руд, месторождений выветривания.

Толща пермских (кунгурский ярус P1) каменных и калийных солей Верхнекамского месторождения мощностью 350-400 м накапливалась в течение 15-17 тыс лет).

Платформенные морские месторождения сидерит-лептохлорит-гидрогематитовых (бобово-) оолитовых руд в карбонатно - терригенных отложениях Западно-Сибирского бассейна (J—K-Pg—N), представленные пологозалегающими

пластами железной руды (до 4-х пластов мощностью от 2 до 20 м), формировались в интервале времени от 3 до 15 млн лет (включая перерывы в осадконакоплении, фиксируемые размывами как самих руд, так и подстилающих их пластов терригенно-осадочных пород.

Периоды отложения угленосной толщи карбона (С) Донецкого бассейна, включающие до 30 пластов каменного угля, охватывают 50-60 млн лет.

Для магматогенных и метаморфогенных месторождений этот вопрос решается менее определенно с привлечением методов абсолютной геохронологии; такого рода исследования показывают на широкий диапазон времени формирования этих месторождений.

В короткие отрезки времени (до десятков тысяч лет) возникают жильные и штокверковые месторождения, ассоциирующие с гранитоидным магматизмом`

Продолжительность лишь ниобиевого оруденения в составе сложного комплекса щелочных-ультраосновных пород и карбонатитов Сокли в Финляндии (O-D1) оценивается в 8,5 млн. лет, а формирование аналогичного Томторского массива (R-V) - в более 80 млн. лет,

Следует подчеркнуть, что некоторые химические элементы, участвующие в создании минералообразующих комплексов тел полезных ископаемых, могут переходить из одного геологического (более раннего) цикла в другой (более поздний) и поэтому их возраст может быть более древним, чем возраст месторождения.

По изотопным данным возраст свинца в рудах колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая является значительно более древним по сравнению с среднедевонским (эйфельским, D2) возрастом самих месторождений.

По мере перехода от земной поверхности на глубину меняются геохимическая и петрофизическая обстановки минералообразования:

- возрастает температура (Т);
- увеличивается давление (Р);
- повышается плотность пород (ρ);
- резко снижается активность кислорода (O₂);
- снижаются активности углекислоты (CO₂) и азота (N₂);
- возрастают активности метана (CH₄) и водорода (H₂);
- меняются фазовое состояние воды (H₂O) и ее плотность (ρ);
- хрупкие деформации горных пород сменяются пластичными.

Уровни глубин формирования месторождений

Приповерхностная зона (0,0-1,5 км)

Все месторождения экзогенной серии, вулканогенные гидротермальные (в том числе колчеданные) месторождения цветных и благородных металлов, кимберлитовые и лампроитовые трубки, карбонатиты.

Гипабиссальная зона (1,5 – 3,5 км)

Большинство плутогенных гидротермальных месторождений различных металлов, скарновые месторождения железа и меди, магматические месторождения сульфидных медно-никелевых руд, хромитов, платиноидов и редких металлов.

Абиссальная зона (3,5-10,0 км)

Пегматитовые, альбитовые и грейзеновые месторождения, часть плутогенных гидротермальных месторождений, магматические месторождения хромитов и титаномагнетитов, ассоциирующие с крупными глубинными плутонами кислых, основных и др. магм.

Ультраабиссальная зона (10,0-граница Мохо)

На континентах – около 40 км, под дном океана – 5-8 км

Метаморфогенные месторождения дистена, силлиманита, анадалузита, рутила, корунда, графита, флогопита. Здесь испытывают глубокие метаморфические преобразования руда образовавшиеся на более высоких уровнях (метаморфизованные месторождения железа и марганца).

Глубина эрозионного среза

Глубина эрозионного среза определяется положением тел полезных ископаемых относительно современной земной поверхности.

Принято выделять три степени эродированности месторождений:

- Начальную (тела полезных ископаемых только начали вскрываться эрозией и месторождение перспективно на глубину);
- Промежуточную (среднюю)
- Полную (на поверхности обнажаются корневые части рудных тел и перспективы месторождения на глубину весьма ограничены)

Источники вещества полезных ископаемых

Ювенильные, связанные с разнообразными по составу магмами глубинного (нижнекорового и верхнемантийного) зарождения и с «трансмагматическими» (по Д.Коржинскому) флюидами.

Алмазы в кимберлитовых и лампроитовых трубках, ниобий и редкоземельные элементы в карбонатитах сложных ультраосновных-щелочных магматических комплексов.

Ассимиляционные, связанные с ассимиляцией магматическим расплавом минерального вещества окружающих пород, то-есть с возникновением палингенной магмы. Обогащение щелочной магмы углеродом за счет ассимиляции ею окружающих карбонатных пород с последующим образованием магматических штоков плотнокристаллического графита в периферических частях сиенитового интрузива Ботогольского месторождения (по Б.М. Куплетскому).

Заимствованные выщелачиванием из пород минерального вещества газожидкими растворами различного генезиса на путях их подземной циркуляции.

Рециклинговая модель образования субмаринных колчеданных залежей в конвективной палеогидротермальной системе, предполагающая захват из окружающих пород цветных металлов и других элементов, их перенос циркулирующей разогретой морской водой с последующим отложением в зоне выхода гидротерм близ поверхности морского дна. (По Р.Хатчинсону, У.Файфу и др.)

Экзогенные, то-есть снос вещества с поверхности континентов в виде взвесей и растворов в водные бассейны осадконакопления (седиментации).

Растворение и перенос железа, марганца, алюминия, солей и др. с континентов в бассейны осадконакопления с образованием осадочных пластовых залежей этих металлов и др. элементов и соединений.

Отложение минерального вещества полезных ископаемых из минералообразующих сред:

1. **Из расплавов** (магматические месторождения)
 - Кристаллизация минералов магмы (кристаллизационная или ликвационная дифференциация)
2. **Из водных и газовой-водных растворов, газовых растворов** (магматогенные и седиментогенные месторождения)
 - Механическое осаждение
 - Биохимическое осаждение
 - Самопроизвольная коагуляция
 - Пересыщение и испарение растворов
 - Химические реакции различных веществ, находящихся в растворе и вступающих во взаимодействие при изменении температуры, давления и других параметров, реакций при смешении растворов различного состава и реакций вещества раствора с горными породами

- Сублимация (возгонка)
3. **Результат перегруппировки вещества в твердом состоянии**
(преобразованные, в том числе метаморфогенные месторождения)
- Распад твердых растворов
 - Диффузионный и фильтрационный массоперенос

Лекция 7

Контроль оруднения. Структура месторождений.

Контроль оруднения – закономерная связь (локализация, приуроченность) рудоносных зон, месторождений, рудных тел (залежей), рудопроявлений и др. металлогенических (минерагенических) таксонов с определенными геологическими элементами земной коры.

Структура месторождения – совокупность элементов геологической структуры, определяющих форму месторождения, то-есть морфологию рудных тел, и влияющих на их локализацию.

Контроль оруднения

Магматический контроль – связь (приуроченность) с магматическими формациями, комплексами, интрузивами, их фазами и фациями (магматические, пегматитовые, карбонатитовые, скарновые, альбитит-грейзеновые месторождения).

Структурный (структурно-тектонический) контроль - связь (приуроченность) с пликативными, дизъюнктивными и др. Структурными формами земной коры (эндогенные, в первую очередь, гидротермальные месторождения).

Литолого-стратиграфический контроль - связь (приуроченность) с пликативными, дизъюнктивными и др. определенными пластами осадочных или вулканогенно—осадочных пород, с определенными стратиграфическими горизонтами (осадочные, реже эпигенетические месторождения).

Геоморфологический контроль - связь (приуроченность) с определенными формами рельефа (месторождения россыпные и кор выветривания).

Метаморфический контроль - связь с определенными фациями и типами метаморфизма (метаморфогенные месторождения).

Геологическая структура - пространственное расположение и взаимоотношение комплексов горных пород, возникшее главным образом в результате тектонических движений, изменения первичного залегания горных пород, связанного с их деформациями и другими явлениями. Тела, образованные в земной коре различными породами, называют **структурными формами** (первичные: пласт, лавовый поток, шток, дайка и др.; вторичные: складка, сдвиг, трещина и др.). Геологическая структура может быть пластовой, трещинной, складчатой, вулканической, комбинированной и т.п.).

Структура месторождений

Структура месторождения – совокупность элементов геологической структуры, определяющих форму месторождения, то-есть морфологию рудных тел, и влияющих на их локализацию. В понятие «структура месторождения» входит сочетание в

пространстве различных пород и руд, поверхностей их ограничений (слоистости, контактов и пр.), линейных, плоскостных и др. текстур.

Структурный контроль оруденения - закономерная приуроченность тел полезных ископаемых к определенным структурным элементам (пластовым, складчатым и др.) или к их комбинации в сочетании с благоприятными или неблагоприятными для рудоотложения породами. Такие структуры называют *рудоконтролирующими*, среди которых различают *рудопределяющие* и *рудовмещающие*. Среди рудоконтролирующих структур выделяют также *дорудные, внутрирудные и послерудные*.

Схема для понимания терминологии. Это рудоподводящий канал. Рудораспределяющие структуры. И Рудовмещающие структуры – на (Рис. 7.1.) антиклинальные складки.

Во многом выделение этих структур - обоснованные гипотезы геологов. Рудовмещающие – реальные структуры, которые можно наблюдать, измерять.

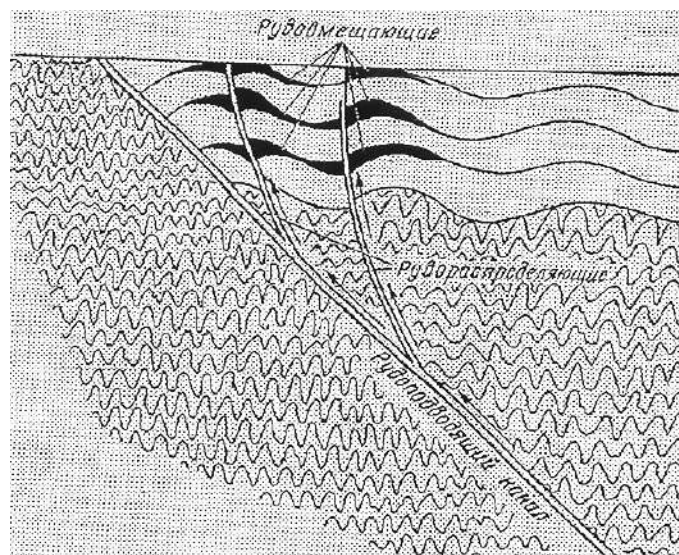


Рис. 7.1. Схема циркуляции рудоносных растворов по системе рудоподводящих, рудораспределяющих и рудовмещающих текстур

Профессор Георгий Яковлев предложил геологические структуры полезных ископаемых классифицировать таким образом.

Все множество геологических структур можно разделить на дорудные, внутрирудные и послерудные.

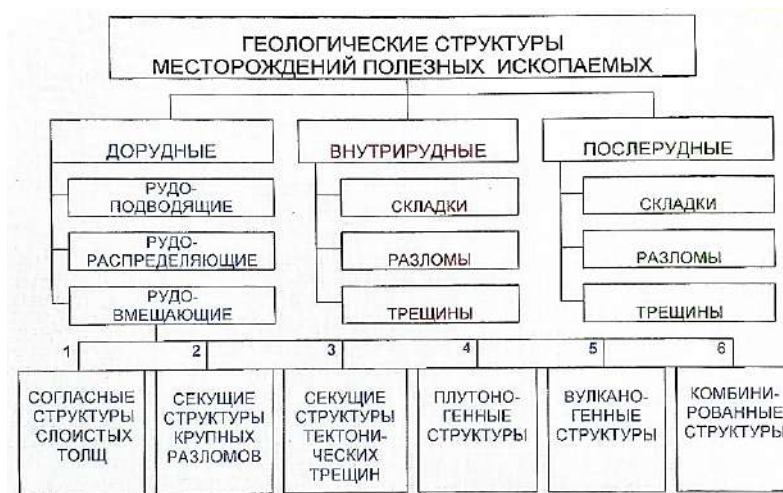


Рис. 7.2. Геологические структуры месторождений ПИ по Г.Ф. Яковлеву

Далее представлена расшифровка этой классификации.

Геологические структуры месторождений полезных ископаемых

1. Согласно структуры слоистых толщ:

- шарниры складок
- флексуры
- зоны межпластовых и внутрипластовых срывов и дробления
- водонепроницаемые экраны
- пласты "благоприятных" пород

2. Секущие структуры крупных разломов:

- надвиги
- сбросы и сдвиги

3. Секущие структуры тектонических трещин:

- трещины отрыва
- трещины скола
- трещины скола и отрыва
- трещины оперения
- пересечения трещин
- зоны трещиноватости
- зоны расщепления

4. Плутоногенные структуры:

- магматическое расслоение
- последовательные инъекции
- магматическое течение
- контракционные трещины
- контакты интрузий

5. Вулканогенные структуры:

- вулканические жерла
 - вулканические кальдеры
 - трубки взрыва
 - кольцевые трещины
 - вулканическое наложение
6. Комбинированные структуры:
- структуры пересечения трещин и пластов

Далее приведены примеры структур.

Пример согласной структуры (Рис. 7.3). Пластовое бокситовое рудное тело в осадочных доломит-известняковых толщах.

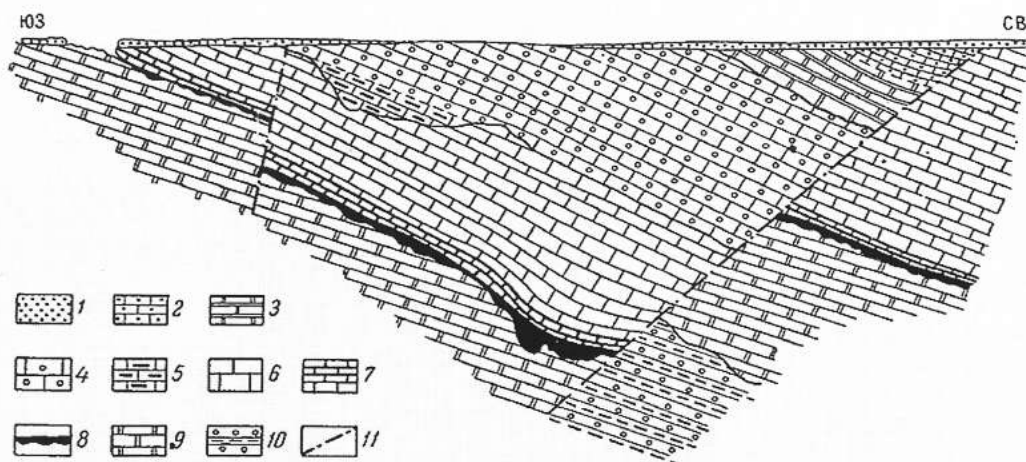


Рис. 7.3. Геологический разрез бокситового месторождения Петрозавдовско полосы. 1-четвертичные отложения, 2-светло-серые рифогенные известняки, 3-темно-серые битуминозные плитчатые известняки, 4-светло-серые массивные рифогенные известняки и серые толстоплитчатые известняки, 5-темно-серые тонкоплитчатые кремнистые известняки, 6-светло-серые массивные рифогенные известняки, 7-темно-серые битуминозные амфиоровые известняки, 8-бокситы, 9-розовые массивные рифогенные известняки, 10-конгломераты, песчаники и сланцы, слоистые известняки, 11-дизъюнктивные нарушения

В антиклинальных складках могут образовываться рудные тела такого типа. Это седловидная жила (Рис. 7.4). Жильная система золоторудного месторождения в Австралии.

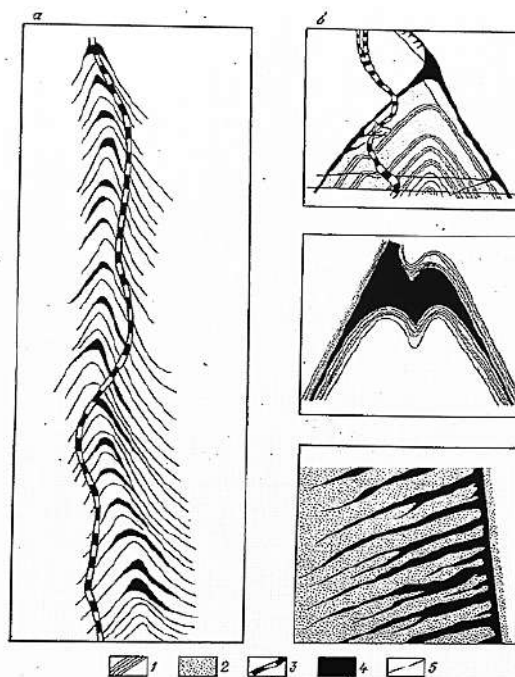


Рис. 7.4. Поперечные разрезы жильной системы (а) и отдельных жил (б) на месторождении Бендинго (ЮВ Австралия, пров. Виктория). Условные обозначения: 1-сланцы, 2-песчаники, 3-дайки мончикитов, 4-рудные тела, 5-тектонические нарушения

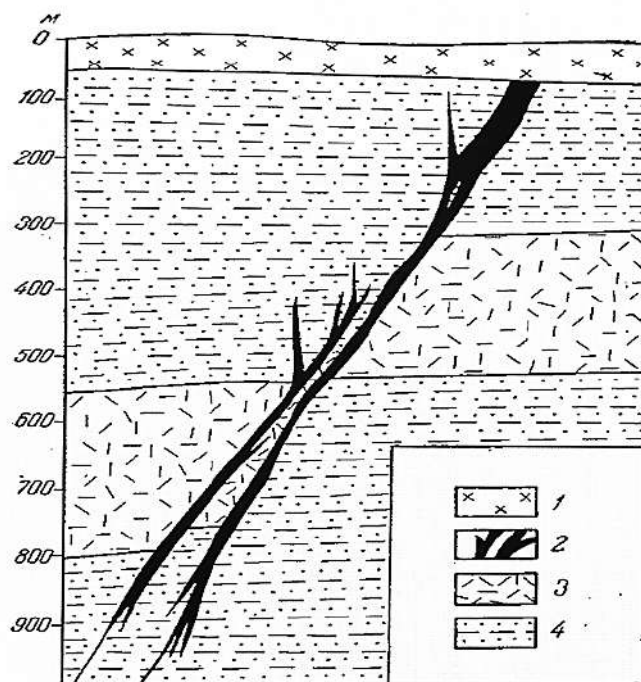


Рис. 7.5. Золото-серебряная жила Сан-Рафаэль (Мексика), приуроченная к сбросу. 1-покров юного андезита, 2-рудная жила, 3-миоценовые интрузивные породы, 4-юрские сланцы и песчаники

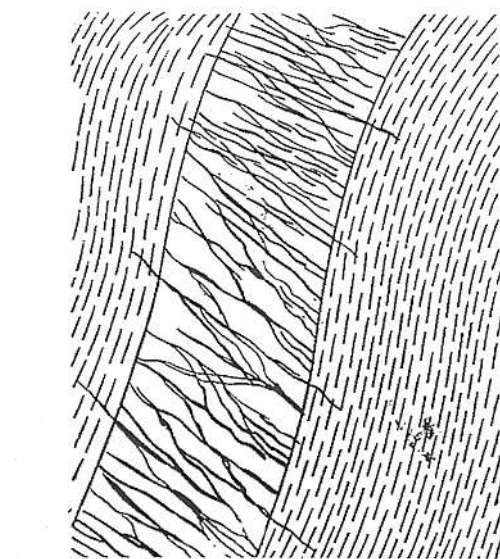


Рис. 7.6. Лестничная жила

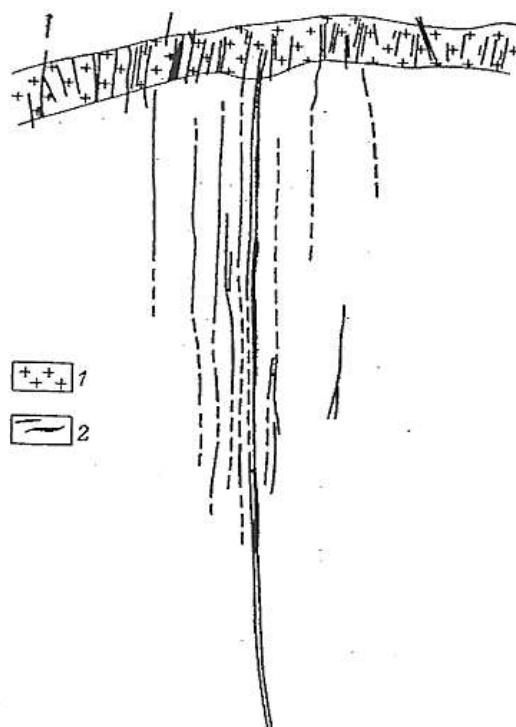


Рис. 7.7. Березовское золоторудное месторождение (Средний Урал). Лестничные жилы и свита красичных жил (по М. Бородаевской и Н. Бородаевскому). 1-гранит-порфиры, 2-рудные жилы, лестничные и красичные

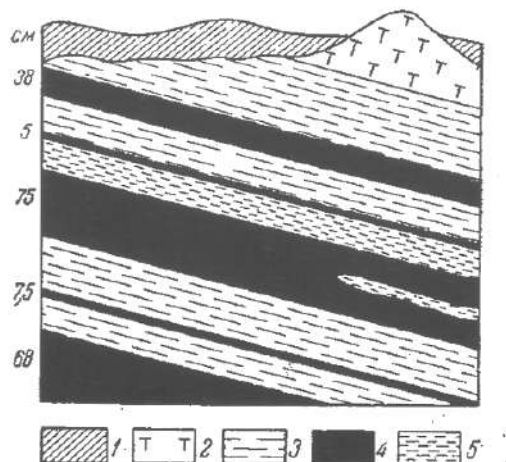


Рис. 7.8. Пластовые залежи хромитов в Бушвелдском расслоенном магматическом комплексе (ЮАР). 1-нанос, 2-анортозиты, 3-диаллаговые габбро, 4-хромиты, 5-бронзито-диаллаговые породы

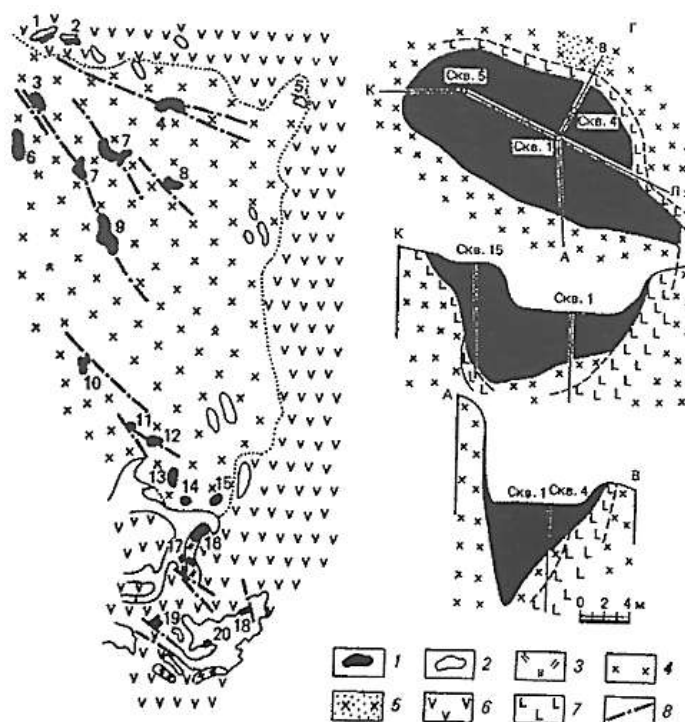


Рис. 7.9. Распределение графитовых залежей в Ботогольском массиве (слева), геологический план и разрезы Корнельевского штока(справа) (по Р.В. Лобзовой). Условные обозначения: 1-графитовые залежи (цифры на рисунке: 1- Верхняя, 2- Северная, 3- Петровска, 4- Корнельевский шток, 5- Аномалия №4, 6- Аномалия № 18-19, 7- Юго-Западная, 8- Некрасовский шток, 9- Аномалия № 17, Пермикинский шток, 11- шток Новый, 12- Алиберовский шток, 13- Большой шток, 14- Второй южный шток, 15-Юго-Восточный шток,

16-Ильинская, 17-Жила, 18- Клемешевский шток, 19-Южный шток, 20-гнездо Шарик). 2-ксенолиты мраморов, 3-скарновые породы, 4-лейкократовые нефелиновые сиениты, 5-нефелиновые сиениты графитизированные, 6-пироксеновые сиениты, 7-апокарбонатные фениты, 8-разрывные нарушения

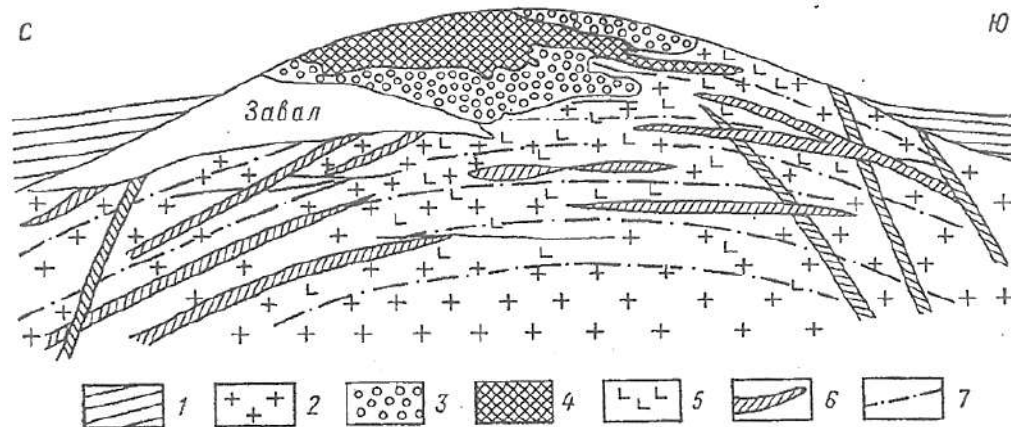


Рис. 7.10. Спокойнинское вольфрамовое месторождение в Забайкалье (по М.А. Осипову). Рудовмещающая протоинтрузивная трещинная структура. 1- метаморфизованные сланцы, 2-граниты, 3-существенно полевошпатовая зона пегматитового тела, 4-кварцевое ядро пегматитового тела, 5- полосчатые грейзены, 6-кварцевые жил, 7-трещины отдельности

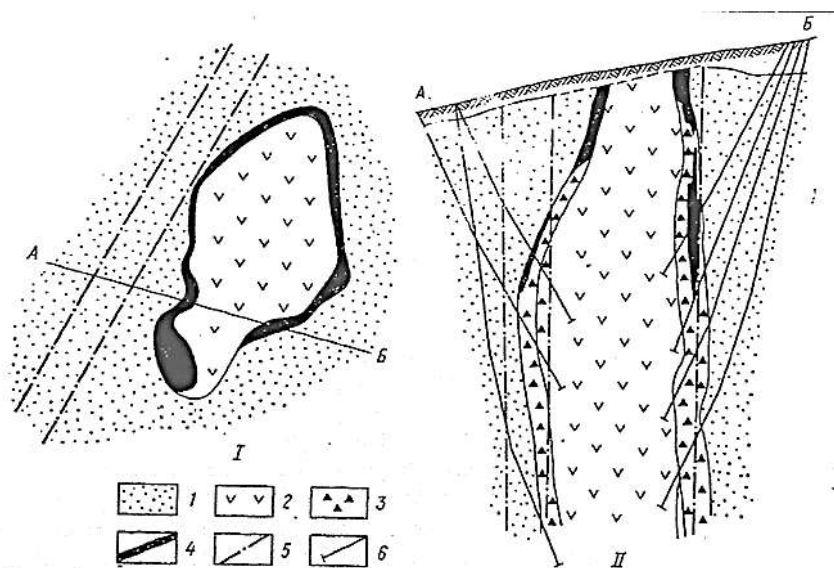


Рис. 7.11. Желовая структура ртутного месторождения в Закарпатье (по Б.В. Мерличу). Рудное тело приурочено к кольцевой структуре вулканических брекчий некка. План и разрез. 1- осадочные отложения эоцена, 2-андезито-базальты, 3-вулканические брекчии андезито-базальтов, 4-рудные тела, 5-разломы, 6-буровые скважины

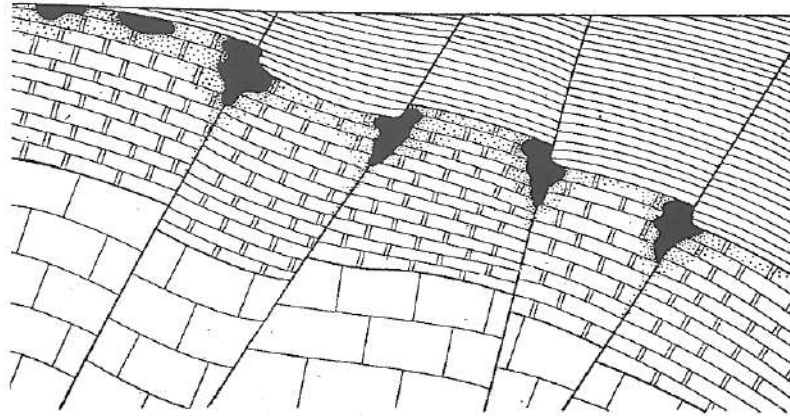


Рис. 7.12. Гнезда руды в минерализованной породе (разрез)

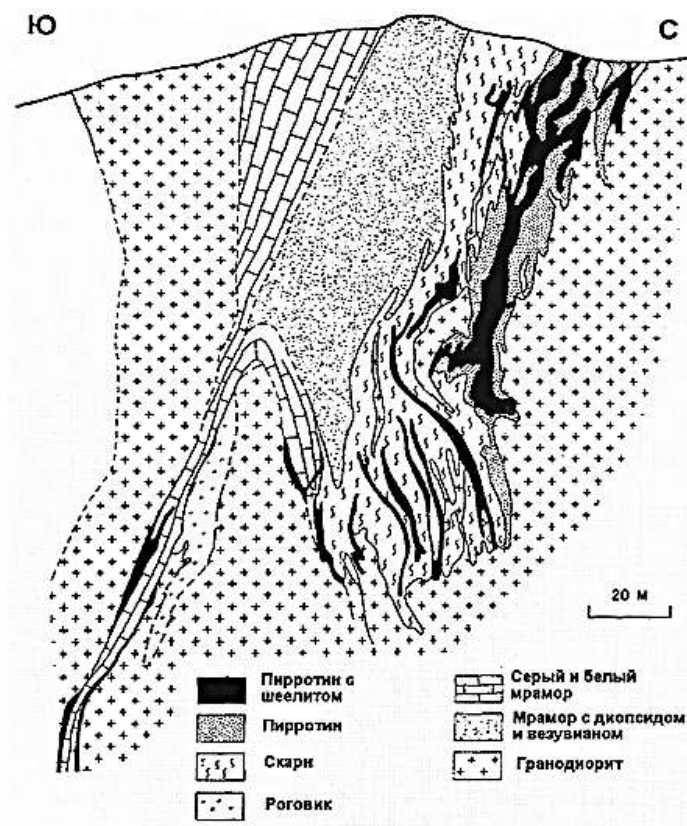


Рис. 7.13. Вольфрамовое месторождение Салаи

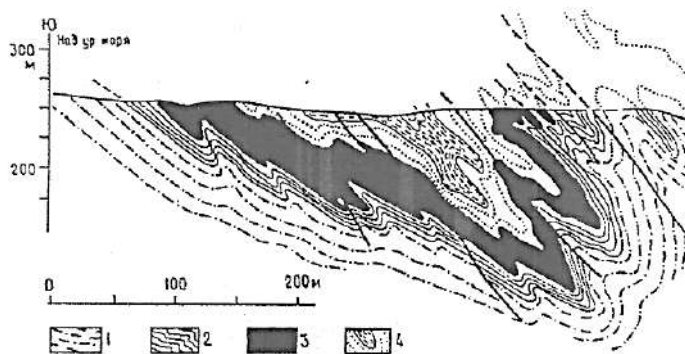


Рис. 7.14. Послерудные складчатые структуры пирит-марганцевого месторождения Хвалетице в Железных горах, Чехия. 1- протерозойские сланцы и граувакки, 2-графитовые сланцы, 3-залежи пирит-марганцевых руд, 4- графитовые сланцы с горизонтами кремнистых сланцев

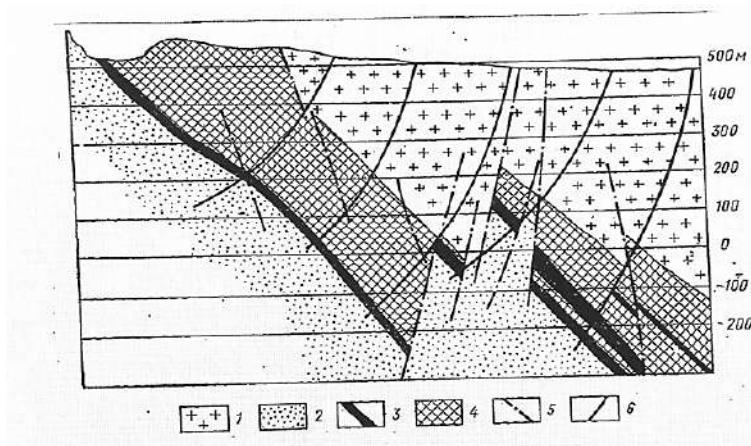


Рис. 7.15. Послерудные разрывные нарушения на апатит-магнетитовом месторождении Ректор в Швеции (по Т.Параку). 1- кварцевые порфиры, 2-песчаники, 3,4-руды 3-магнетитовые, 4 гематитовые, 5-разрывные нарушения, 6-буровые скважины

Дорудные и интратрудные (внутрирудные) структурные элементы месторождений обеспечивают во времени и пространстве накопление полезных ископаемых и контролируют минерализацию, их иногда объединяют в единую группу структур локализации.

Пострудные (послерудные) структурные элементы выделяются под названием структур трансформации, они являются наложенными, осложняющими (трансформирующими) морфологию и внутреннее строение тел полезных ископаемых.

При изучении структуры месторождений особое внимание обращается на рудовмещающие структуры, так как главной задачей является установление генезиса формы (стереогенеза) месторождения со всеми его осложнениями, связанными с внутрирудными и послерудными деформациями.

Лекция 8

Геологические условия образования месторождений, свойственные различным геодинамическим обстановкам

Геодинамика - наука о глубинных силах и процессах, которые обуславливают развитие твердой Земли в целом, вызывают движение масс веществ и энергии внутри Земли и в ее внешних оболочках.

Геодинамическая обстановка - условия развития эндогенных и экзогенных процессов в конкретную геологическую эпоху.

Тектоника литосферных плит (ТЛП)

ТЛП (новая глобальная тектоника) - современная мобилистская геотектоническая теория, рассматривающая эволюцию вещества и структур верхней оболочки Земли как результат взаимодействия литосферных плит в процессе их горизонтального перемещения по астеносфере под воздействием конвекции в мантии.

ТЛП - современный вариант концепции мобилизма, противопоставляемой концепции фиксизма. Её основные положения:

1. внешняя упруго-хрупкая оболочка Земли (литосфера), включающая земную кору и верхнюю мантию, покоится на упруго—пластичной астеносфере;
2. литосфера зонами сейсмической, тектонической и вулканической современной активности разбита на небольшое число крупных блоков (литосферных плит);
3. плиты перемещаются по поверхности астеносферы в виде единого ансамбля по законам сферической геометрии (теорема Эйлера);
4. границы плит - в зависимости от движения плит - подразделяются на дивергентные, конвергентные и трансформные;
5. движение плит носит компенсационный характер: спрединг океанического дна компенсируется поглощением в зонах субдукции; радиус Земли остается постоянным;
6. причиной движения плит является конвекция мантийного вещества в виде замкнутых ячеек.

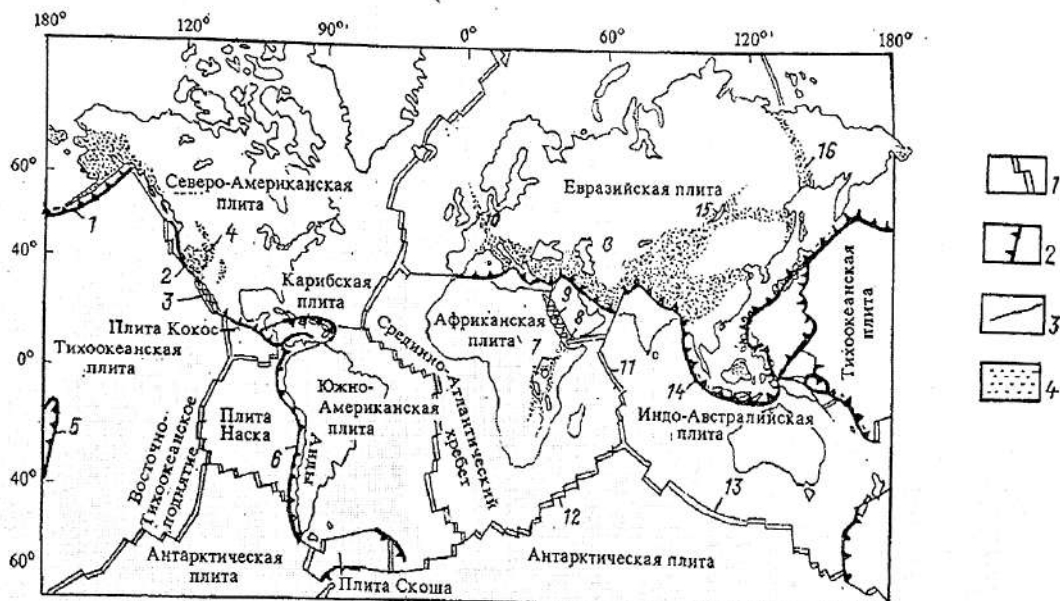


Рис. 8.1. Литосферные плиты Земли и их современные активные границы. Границы: 1 - дивергентные (оси спрединга); 2 - конвергентные (зоны субдукции); 3 - трансформные (сдвиги). Участки континентальной коры современного активного тектогенеза, главным образом разломообразования: 1 - Алеутский желоб, 2 - разлом Сан-Андреас, 3 - Калифорнийский залив, 4 - провинция Бассейнов и Хребтов, 5 - желоб Тонга-Красмадек, 6 - Чилийско-Перуанский желоб, 7 - Восточно-Африканская рифтовая зона, 8 - Афарский треугольник, 9 - Красноморско-Аденский рифт, 10 - Рейнский рифт, 11 - хр. Карлсберг, 12 - Западно-Индийский хребет, 13 - Восточно-Индийский хребет, 14 - Яванский желоб, 15 - Байкальский рифт, 16 - межплитная граница неопределенная, 17 - Филиппинская плита

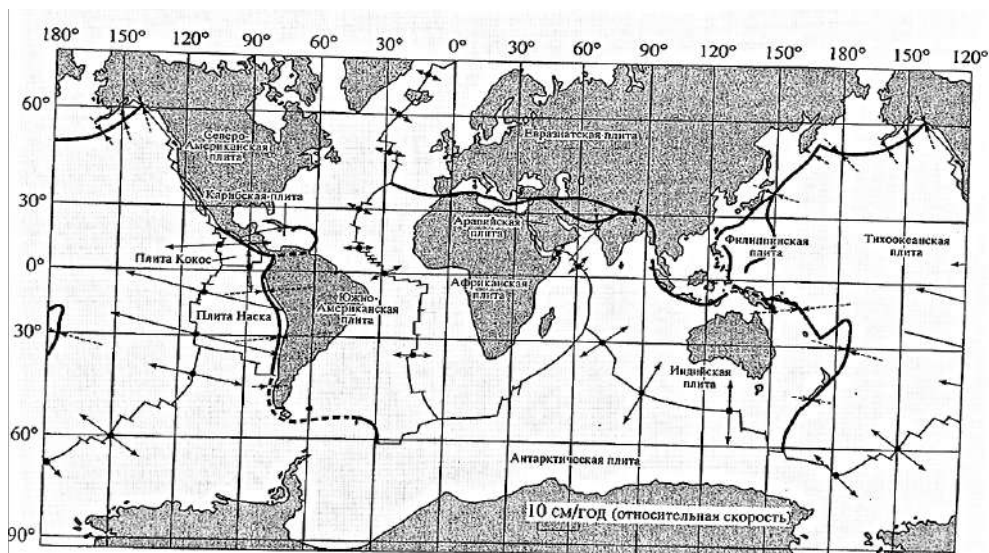


Рис. 8.2. Литосферные плиты земной поверхности: Евразийская, Северо-Американская, Южно-Американская, Тихоокеанская, Индийская (Австралийско—Индийская), Африканская, Антарктическая, Наска, Филиппинская, Аравийская, Карибская, Кокос, Скошиа, Хуан-де-Фука (стрелками показаны скорости раздвижения/спрединга и схождения/субдукции плит; по Трубицыну)

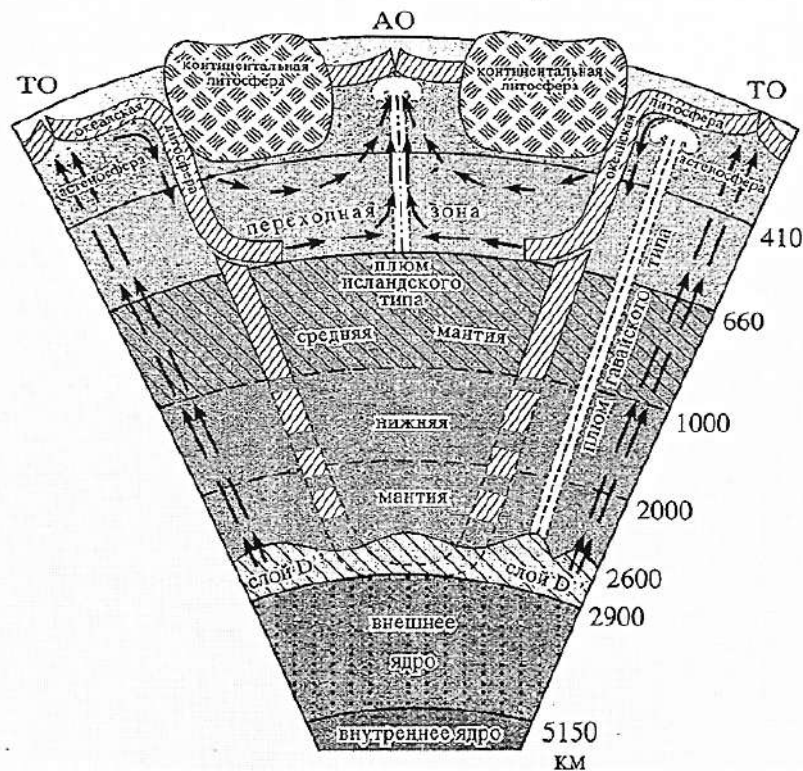


Рис. 8.3. Схема внутреннего строения и предполагаемой динамики твердой Земли (АО-Атлантический океан, ТО-Тихий океан; по В.Е. Хаину)

Внутреннее строение и предполагаемая динамика твердой Земли

К схеме внутреннего строения и предполагаемой динамики твердой Земли (по В.Е. Хаину) (Рис. 8.3)

Внутреннее ядро: $R = 290$ км; твердый сплав Fe+Ni; анизотропия и отличная от остальной Земли скорость вращения,

Внешнее ядро: гл.=2900 км; жидкое (Fe+Ni) + добавки Si, S, O, флюиды; под влиянием осевого вращения Земли генерирует главное магнитное поле планеты (периодическая инверсия полюсов).

Нижняя (и средняя) мантия: 2900—670 (660) км, оксиды Fe и Mg; внизу — слой D ультранизкой вязкости (частичное плавление, резко неровная верхняя граница, мощность 200-300 км); «сток» в ядро Fe и Ni; средняя мантия сложена метасиликатом Ca/Mg и Fe-перовскитом магнезиовюститом (оксиды Fe и Mg).

Переходная зона: 660 (670) - 410 км; шпинель+пироксены+гранаты; нижняя граница - полупроницаемый рубеж для обмена веществом.

Верхняя мантия: вместо шпинели появляется менее плотный оливин, метасиликаты и пироксены подстилают земную кору.

Граница Мохо: разделяет верхнюю мантию и земную кору; скачок сейсмических скоростей: у/осн. породы мантии сменяются основными породами низов коры.

Земная кора: мощность до 75 км; соединения Si, Al, K, Na, повышенные содержание, радиоактивных, редкоземельных элементов (разделение по составу).

Разделение по реологическому критерию: литосфера (относительно жесткая и хрупка) кора + верх. мантия; астеносфера (повышенная пластичность), в ней возникают магматические очаги.

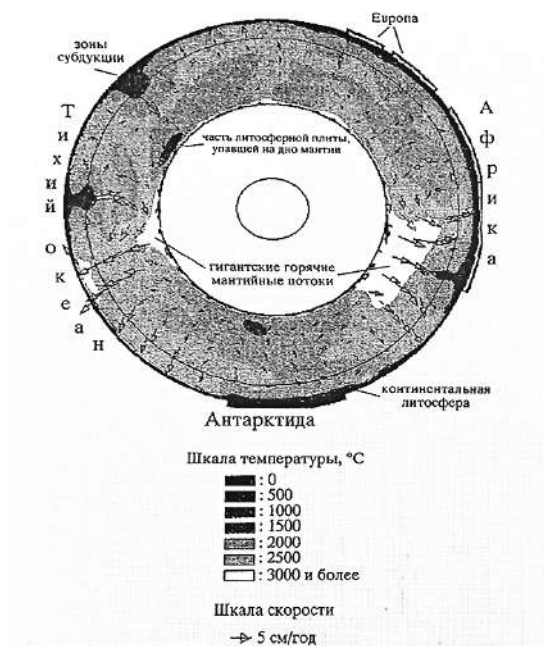


Рис. 8.4. Модель Земли, рассчитанная по уравнениям конвекции с плавающими континентами и начальным распределением температуры по данным сейсмической томографии

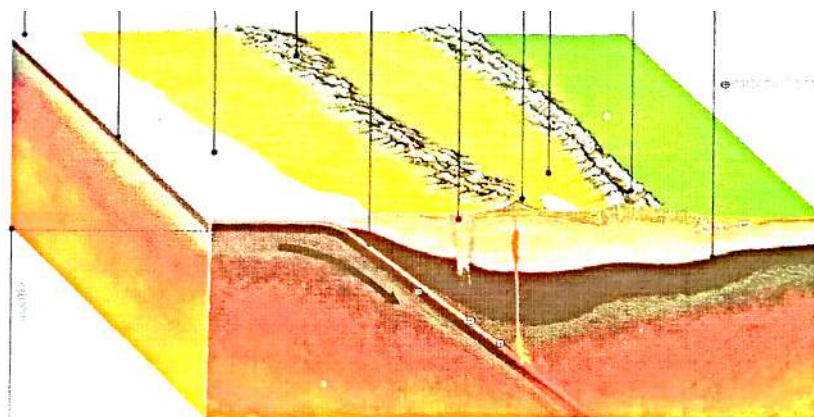


Рис. 8.5. Зона субдукции под Южно-Американским континентом

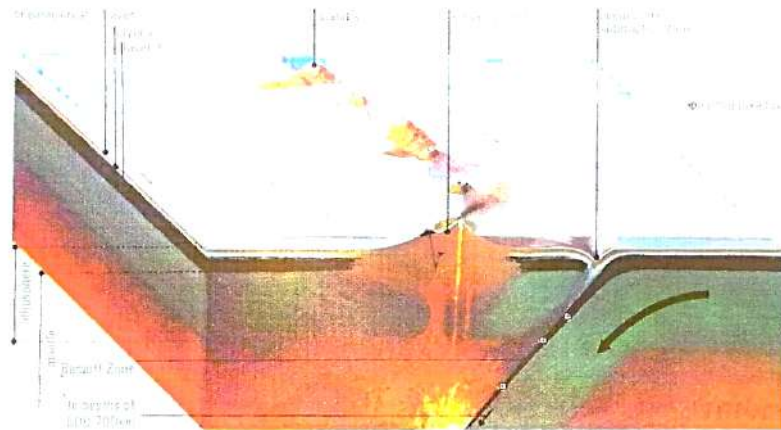


Рис. 8.6. Зона субдукции с островной дугой

Цикл Уилсона (ЦУ)

Цикл Уилсона (ЦУ) - последовательная смена геодинамических обстановок во времени и пространстве, в течение которой возникают основные структурные элементы земного шара. ЦУ описывает зарождение, раскрытие и закрытие океанских бассейнов с полной перестройкой геометрии материковых блоков и океанских впадин на поверхности Земли.

Основные стадии ЦУ:

- горячие точки в океанах и на континентах;
- континентальный рифтогенез;
- межконтинентальный рифтогенез;
- стадия молодого океана (атлантического типа) с подзонами пассивных окраин,
 - абиссальных равнин и зон спрединга;
 - стадия зрелого океана (тихоокеанского типа) с подзонами островных дуг и активных континентальных окраин (андийского типа);
 - сокращение и закрытие океана с континентальной коллизией плит.

Вслед за коллизией процесс повторяется, что определяет его цикличность.

Продолжительность ЦУ оценивается в 700 млн лет.

В соответствии с ЦУ основные процессы осадконакопления, складчатости, горообразования, магматизма и метаморфизма оказываются разобщенными не только во времени, но и в пространстве, а эволюция геосинклиналий отражает историю развития океанов от их зарождения и раскрытия до закрытия и сближения обрамляющих их континентов.

Образование складчатых сооружений орогенов объясняется сжатием литосферных плит, а горные пояса формируются на месте закрывшихся океанов и

представляют собой совокупность структурно-вещественных комплексов, совмещенных в пределах пояса в результате тектонического скупивания.

Восстановление на основе актуализма обстановок прошлого, в которых формировались комплексы орогенов, составляют содержание метода тектонического анализа – палеогеодинамических реконструкций. Моделирование новой концепции геологосъемочных работ.

Теория литосферных плит рассматривает геодинамические обстановки дивергентных границ (внутриконтинентального и межконтинентального рифтогенеза, конвергентных границ (оубдукционные, островодужные, приконтинентальные, коплизсионные), внутриплитные (платформенные, платформенного магматизма).

Индикаторами палеогеодинамических обстановок являются геологические формации и их ассоциации.

Геологическая формация

Геологическая формация - совокупность горных пород, связанных общностью условий своего образования , то-есть возникших в сходной физико- географической и тектонической (геодинамическая,ой) обстановке. Они могут быть:

- 1) осадочными (флишевая, молассовая, глубоководных красных глин и др.),
- 2) вулканогенными (континентальная платобазальтовая, островодужная известково-щелочная, океанско-островная щелочно—базальтовая и др.),
- 3) вулканогенно-осадочными,
- 4) интрузивно—магматическими (габбро—анортозитовая, гранитных батолитов, ультраосновная щелочная и др.),
- 5) метаморфическими (зеленосланцевая, амфиболитовая и др.),
- 6) по связанным с ними полезными ископаемыми (угленосные, соленосные и др.).

Геологическая ассоциация - закономерное сочетание осадочных, вулканогенных и интрузивных формаций (например, офиолитовая ассоциация ультраосновных и основных интрузивных пород, толеитовых базальтов и пелагических кремнистых, глинистых и карбонатных пород; трапповая ассоциация платобазальтов, даек, силлов и расслоенных интрузивов габбро—долеритов и др.).

Минерагения основных геодинамических обстановок

Выделяют пять основных групп геодинамических обстановок (ГО), определяющих формирование месторождений.

1. Океанические ГО: рудные образования на/близ поверхности морского дна, связанные с базальтоидным магматизмом (Cu-Zn колчеданные руды, Fe-Mn конкреции и др.).

2. Активных континентальных окраин (субдукционные) ГО: месторождения цветных (Cu, Zn, Pb, Mo) и благородных (Au, Ag) металлов, ассоциирующие с известково-щелочными магмами.

3. Пассивных континентальных окраин ГО: стратиформные Pb-Zn месторождения в карбонатных толщах; колчеданно-полиметаллические, Au-кварцевые и Au-сульфидные в углеродистых терригенно-флишеидных комплексах; Ag-V, Mo-Ni с PGM и Au минерализацией в черносланцевых толщах; Mn-руды и фосфориты в составе кремнисто-карбонатной ассоциации.

4. Континентальные внутриплитные ГО:

а) горячих точек (редкоземельные карбонаты, алмазоносные кимберлиты);

б) рифтогенные (ликвационные Cu-Ni и хромитовые Cu и Ni месторождения);

в) авлакогенов (Au-U конгломераты, стратиформные м-ния Pb-Zn-Cu, урановые с Au, Ni, Co в поверхностях несогласия, медистые песчаники);

г) осадочного чехла платформ (месторождения кор выветривания, бокситы, россыпи Au, Sn, W, алмазов; соленосные, угольные и др. бассейны)

5. Коллизионные ГО: грейзены и пегматиты с Sn и W в надинтрузивных зонах коллизионных гранитов, магнезитовая, сидеритовая минерализация в офиолитах.

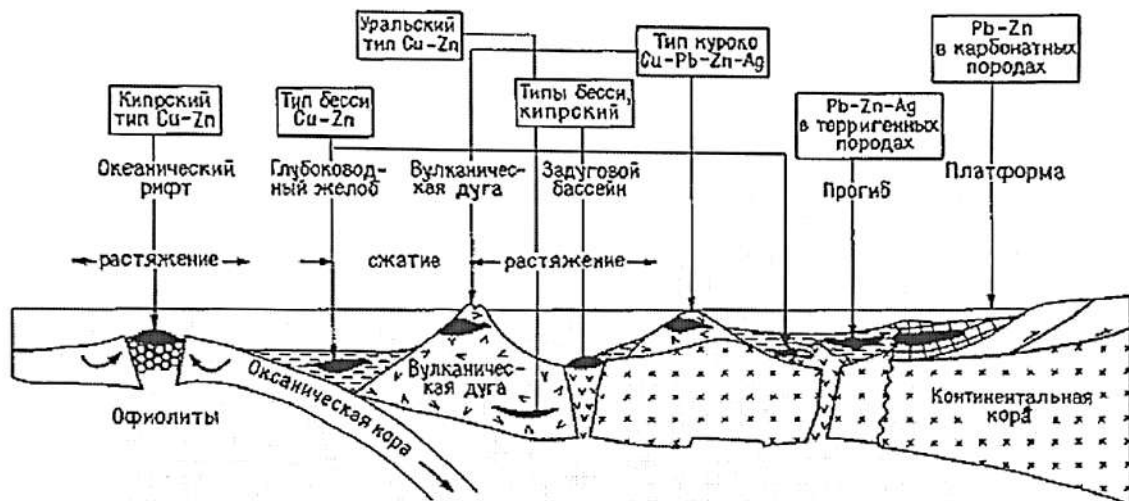


Рис. 8.7. Месторождения Кипрского типа: геотектонические обстановки рудообразования

Срединно-океанические срединговые зоны:

- Низкокальциевые океанические толеиты (базальты типа MORB)
- Редкие и мелкие месторождения: Скиддер, Йорк-Харбор, Грегори-Ривер (Ньюфаундленд)

Внутриплитные обстановки (вулканические острова)

- Щелочные или переходные разности базальтов
- Исключительно редкие месторождения (Чу-Чуа в Брит. Колумбии)

Задуговые (надсубдукционные) спрединговые зоны

- Высокомагнезиальные базальты с аномально низким содержанием Ti
- Большинство месторождений, в т.ч. на Ньюфаундленде, Кипре, в Омане, Аппалачах

Лекция 9

Периодичность образования месторождений в геологической истории Земли

В течение длительного времени исследовались колчеданные месторождения меди, цинка и свинца. Эти месторождения являются важнейшими с точки зрения запасов цветных металлов. С этими месторождениями связаны примесные месторождения благородных металлов. В результате многолетних исследований была составлена база данных по этому типу месторождения. На основании этой базы данных, в которых все месторождения были охарактеризованы, было установлено, что в геологической истории Земли колчеданные месторождения распределяются неравномерно, дискретно. На рис. 9.1 представлена шкала времени до настоящего времени. На шкале показаны основные геодинамические события. Также здесь показано, где находятся колчеданные месторождения.

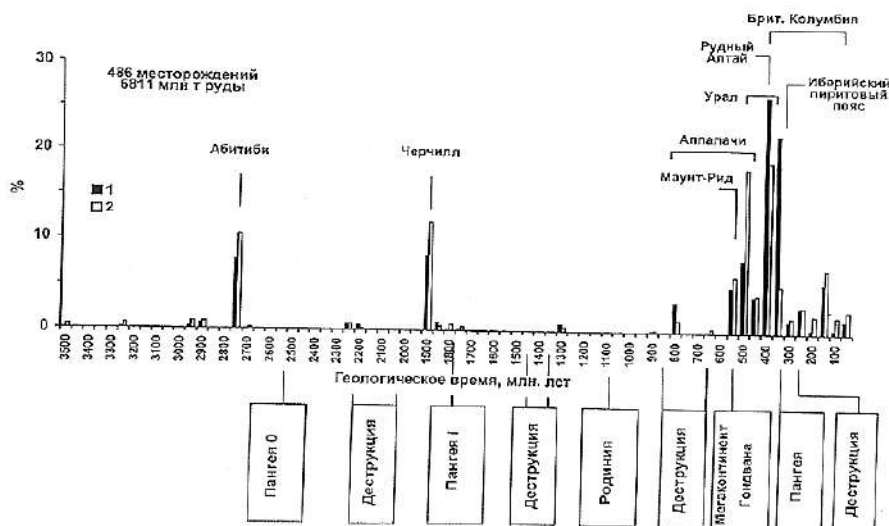


Рис. 9.1. Распределение во времени запасов руды (1) и численности колчеданных месторождений (2) вулканической ассоциации

Из тех же самых исследований были выполнены такие работы, как локализация в истории Земли определенных генетических месторождений в соответствии с иными геологическими событиями. На (Рис.9.2) показано распределение железистых кварцитов. В основном они распределены в архее и протерозое. Медистые песчаники - в архейское время их не было, они появились в среднем протерозое, в основном это палеозой и более молодые образования. Неравномерность свойственна и другим типам месторождений. Внизу рисунка показана привязка, как соотносятся месторождения с важнейшими геологическими событиями на Земле.

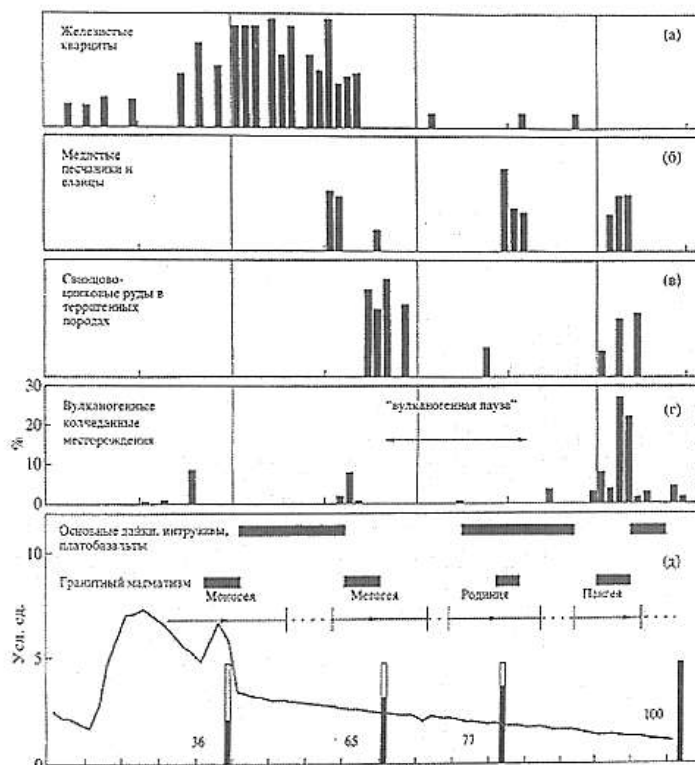


Рис. 9.2. Некоторые типы полезных ископаемых и важнейшие события в истории Земли. а-г-распределение в геологическом времени запасов Fe-кварцитов, Si-песчаников, Pb-Zn руд в терригенных породах, вулканогенных колчеданных руд цветных металлов (в %% от общих запасов этих руд); д-некоторые важнейшие события геологической истории Земли, кривая линия – относительная тектоническая активность планеты; вертикальные колонки – площади континентальной земной коры; сплошны тонкие линии – периоды сбора и стабилизации суперконтинентов, пунктирные линии – периоды их наиболее интенсивной деструкции

Тектоно-металлогенические периоды

В истории Земли рядом исследователей (Д.В. Рундквист, В.Е. Хаин, О.Г. Сорохтин и др.) выделяется пять тектоно-металлогенических периодов:

- I. Тонких литосферных плит (3,2-3,0 млрд. лет);
- II. Высокой тектонической активности, образования ядра и появления континентальной коры (3,0-2,7 млрд. лет);
- III. Возникновения первых суперконтинентов и начала действия тектоники литосферных плит – ТЛП (2,7-1,8 млрд. лет);
- IV. Многократной переработки земной коры (1,8-0,54 млрд. лет);
- V. Циклического функционирования механизма тектоники литосферных плит – ТЛП (0,54 – 0,0 млрд. лет).

Пример исследования свинцово-цинкового рудообразования в истории Земли (А.Л. Дергачев, Н.И. Еремин, 2010)

Важнейшие мировые геолого-промышленные типы месторождений свинца и цинка

- Колчеданные месторождения вулканической ассоциации (VMSD-volcanogenic massive sulfide deposits);
- Стратиформные (stratiform) месторождения в терригенных и терригенно-карбонатных породах (SEDEX – sedimentary exhalative deposits);
- Стратифицированные (stratabound) месторождения в карбонатных породах (MVT – Mississippi valley type deposits)
- На долю трех типов месторождений приходится подавляющая часть мировых запасов (90%) и добычи (80-85%) свинца и цинка;
- К этим типам относятся практически все особо крупные (гигантские) и большая часть крупных по запасам месторождений;
- Доля скарновых и гидротермальных жильных месторождений Pb и Zn (в основном, рядовых и мелких по запасам) сравнительно невелика.
- Накопление свинца и цинка в рудах месторождений во многом определяется закономерностями распределения в геологической истории численности и запасов месторождений указанных важнейших типов;
- Для анализа изменявшихся во времени соотношений месторождений различных типов использовались сведения по 858 месторождениям с суммарными запасами 190,1 млн т Pb и 530,4 млн т Zn (сопоставимы с мировыми общими запасами этих металлов):
 - 673 VMSD (8,07 млрд т руды),
 - 165 месторождениям SEDEX (4,4 млрд т руды),
 - Некоторые месторождения MVT (25% от их числа в мире; преимущественно месторождения Канады и Казахстана).

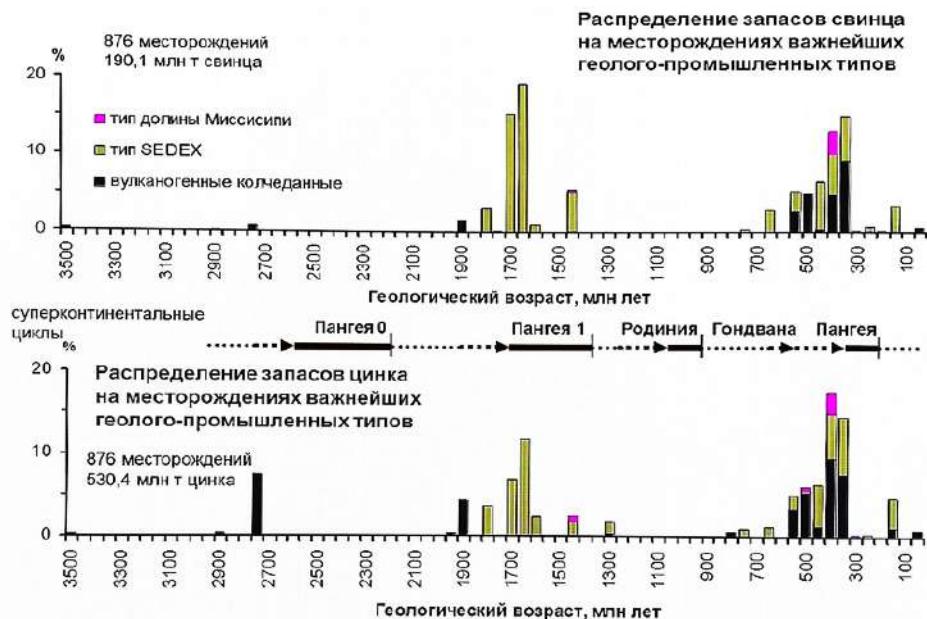


Рис. 9.3. Распределение запасов свинца по месторождениям важнейших геолого-промышленных типов

Распределение во времени запасов Pb и Zn в целом совпадает: промышленные скопления металлы образуют на комплексных месторождениях (Рис. 9.3).

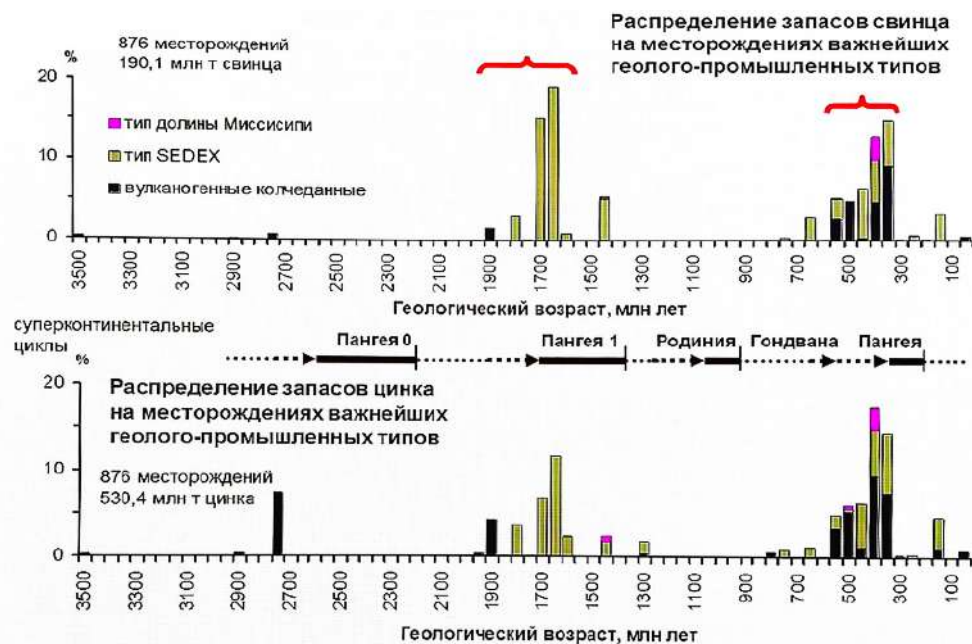


Рис. 9.4. Распределение запасов свинца по месторождениям важнейших геолого-промышленных типов

Подавляющая часть запасов Pb и Zn сформировались в две крупнейшие металлогенические эпохи (Рис. 9.4):

- Палео-мезопротерозойскую (1900-1550 млн лет назад)
- Палеозойскую (550-300 млн лет назад).



Рис. 9.5 Распределение запасов свинца по месторождениям важнейших геолого-промышленных типов

Устанавливаются отдельные значительные, но кратковременные периоды накопления Pb (1450-1440, 150-100 млн лет назад) и Zn (2750-2700, 1450-1400, 1300-1250, 150-100 млн лет назад) (Рис. 9.5);

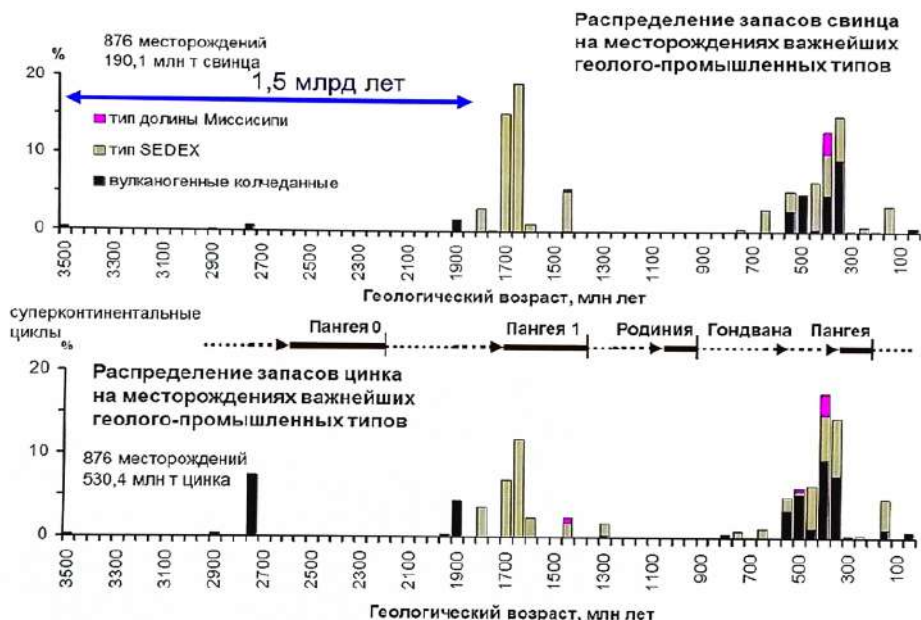


Рис. 9.6. Распределение запасов свинца по месторождениям важнейших геолого-промышленных типов

Месторождения типов SEDEX и MVT появляются намного (почти на 1,5 млрд лет) позднее древнейших вулканогенных колчеданных месторождений (VMSD)

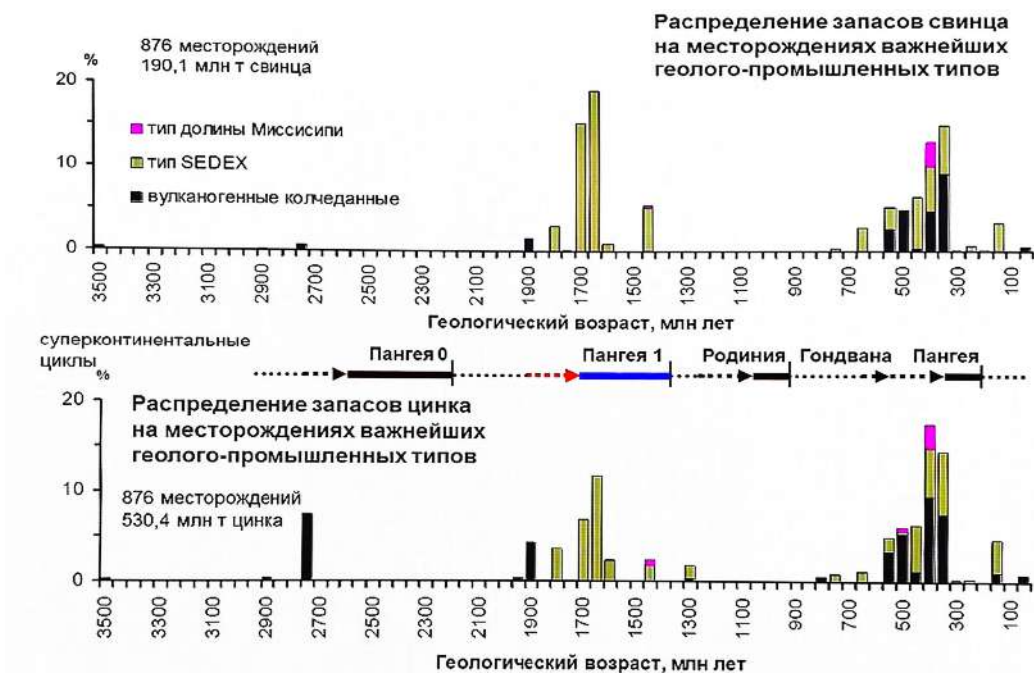


Рис. 9.7. Распределение запасов свинца по месторождениям важнейших геолого-промышленных типов

В палеопротерозое максимумы рудообразования типа VMSD (отвечают на стадии становления суперконтинента) четко разобщены с пиками рудообразования типов SEDEX и MVT (образуются в рифтогенных бассейнах в пределах Пангеи I).

Лекция 10

Генетическая классификация месторождений полезных ископаемых (по В.И.Смирнову с изменениями)

По геологическим условиям образования выделяются три серии месторождений полезных ископаемых: **магматогенная** (глубинная, эндогенная), **седиментогенная** (поверхностная, экзогенная) и **метаморфогенная**.

Как результат крупномасштабной деятельности человека появилась необходимость выделения **техногенной** (четвертой) серии.

Магматогенные (эндогенные, гипогенные) месторождения образованы за счет внутренней энергии Земли в результате геохимических процессов в ее глубинных частях; они формируются из магматических расплавов или из газовых и жидких горячих минерализованных растворов среди глубинных геологических структур в обстановке высоких давлений и температур.

Седиментогенные (экзогенные, гипергенные) месторождения образуются за счет солнечной энергии на поверхности Земли в ее тонкой верхней части, включающей горизонты грунтовых и частично пластовых подземных вод, на дне болот, озер, рек, морей и океанов; они формируются в результате механического, химического и биохимического преобразования и дифференциации минеральных веществ эндогенного, экзогенного и метаморфогенного происхождения.

Метаморфогенные месторождения образуются в процессе метаморфизма (преобразования) горных пород в обстановке высоких давлений и температур; их минеральный состав соответствует определенным фациям метаморфизма рудовмещающих комплексов пород.

Техногенные месторождения - скопления минеральных веществ на поверхности Земли или в горных выработках, образовавшиеся в результате их отделения от массива и складирования в виде отходов горного, обогатительного, металлургического, химического и других производств и пригодные по количеству и качеству для промышленного использования (для извлечения металлов и др. полезных компонентов, получения топлива и стройматериалов).

Сводная генетическая классификация месторождений полезных ископаемых (по В.И.Смирнову)

Серия → Группа → Класс → (Подкласс)

Магматогенная (эндогенная)

Магматическая

- Ликвационный - Раннемагматический - Позднемагматический

Карбонатитовая

- Магматический - Метасоматический - Комбинированный

Пегматитовая

- Простых пегматитов - Перекристаллизованных пегматитов
- Метасоматически замещенных пегматитов

Альбитит-грейзеновая

- Альбититовый - Грейзеновый

Скарновая

- Известковых скарнов - Магнезиальных скарнов
- Силикатных скарнов

Гидротермальная

- Плутоногенный - Вулканогенный
- Амагматогенный (телетермальный, стратиформный)

Колчеданная

- Гидротермально-метасоматический – Гидротермально-осадочный
- Комбинированный

Серия → Группа → Класс → (Подкласс)

Седиментогенная (экзогенная)

Выветривания

- Остаточный - Инфильтрационный

Россыпная

- Элювиальный - делювиальный - Проллювиальный
- Аллювиальный (- Косовой - Русловой - Долинный - Террасовый)
- Литоральный (- Озерный - Морской - Океанический)
- Гляциальный (- Моренный - Флювиогляциальный)

Осадочная

- Механический - Химический - Биохимический

- Вулканогенный

Метаморфогенная

Метаморфизованная

- Регионально-метаморфизованный

- Контактново-метаморфизованный

Метаморфическая

Группа магматических месторождений

Магматические месторождения формируются в процессе дифференциации металлоносной магмы непосредственно из остывающего кристаллизующегося расплава ультраосновного, основного или щелочного состава.

Накопление рудообразующих минералов при этом может происходить в результате ликвации (распад рудно-силикатного расплава на несмешивающиеся фазы - существенно рудную и силикатную) и кристаллизационной дифференциации (в силикатных магмах металлы могут войти в состав минералов как ранней, так и поздней кристаллизации). В первом случае образуются ликвационные, а во втором - раннемагматические (сегрегационные, кумулятивные) и позднемагматические (гистеромагматические, фузивные) месторождения.

Наиболее значимыми являются месторождения титаномагнетитовых, апатит-магнетитовых, медно-никелевых руд, хромитов, платиноидов, редкоземельных и некоторых редких элементов, апатита и графита.

Рудные тела всех месторождений располагаются внутри или по ближайшей периферии родственных им магматических образований (лополитов, уплощенных лакколлитов, силлов, даек, лавовых потоков и т.п.).

Преобладающий источник рудообразующих элементов – глубинное вещество подкоровой магмы, но формирование месторождений - в широком диапазоне глубин и давлений (от очень больших, отвечающих полям устойчивости алмаза и пирропа на глубине ~ 150 км, до приповерхностных, соответствующих образованию норильских руд на глубине до 1 км).

Температуры формирования также варьируют от ~1500 гр. С (экспериментальные условия получения алмаза) до ~300 гр. С (кристаллизация рудообразующих сульфидов некоторых месторождений).

Ликвационные месторождения связаны с магматическими породами габбровой и щелочной формаций активизированных платформ. Типичные представители: сульфидные медно-никелевые, хромит-титаномагнетитовые (габбровая формация), редкоземельные (щелочная формация) месторождения.

Раннемагматические месторождения вкрапленных и шпировых хромитовых и аналогичных титаномагнетитовых руд, связанных соответственно с перидотитовой и габбровой формациями складчатых областей, коренные месторождения алмазов (кимберлитовая формация областей ТМА).

Позднемагматические месторождения массивных (жилы, линзы и т.п.) хромитовых и титаномагнетитовых руд, связанных соответственно с перидотитовой и габбровой формациями складчатых областей, апатитовых руд в щелочных формациях областей платформенной ТМА).

Примеры месторождений

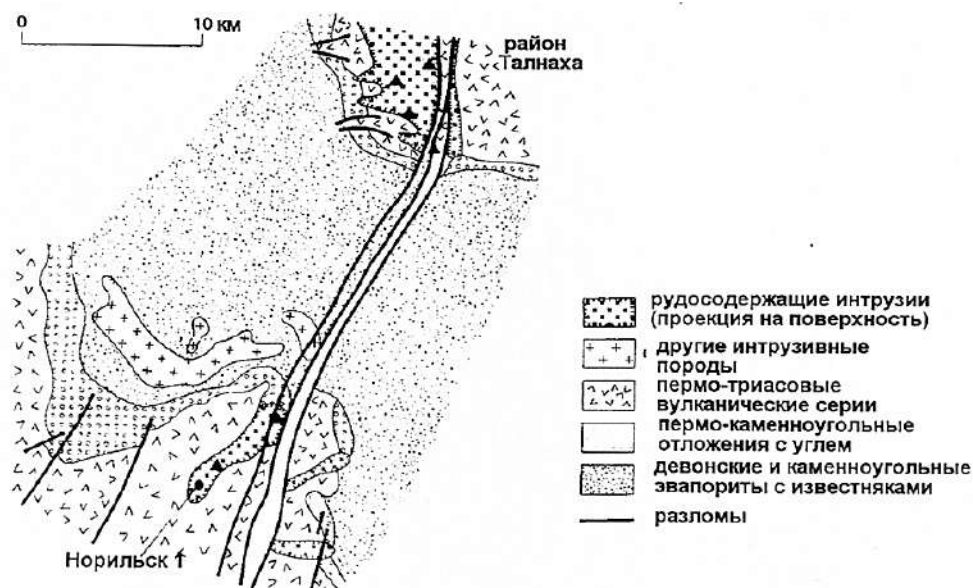


Рис. 10.1. Геология региона Норильск-Талнах (по Налдретту, 1981)

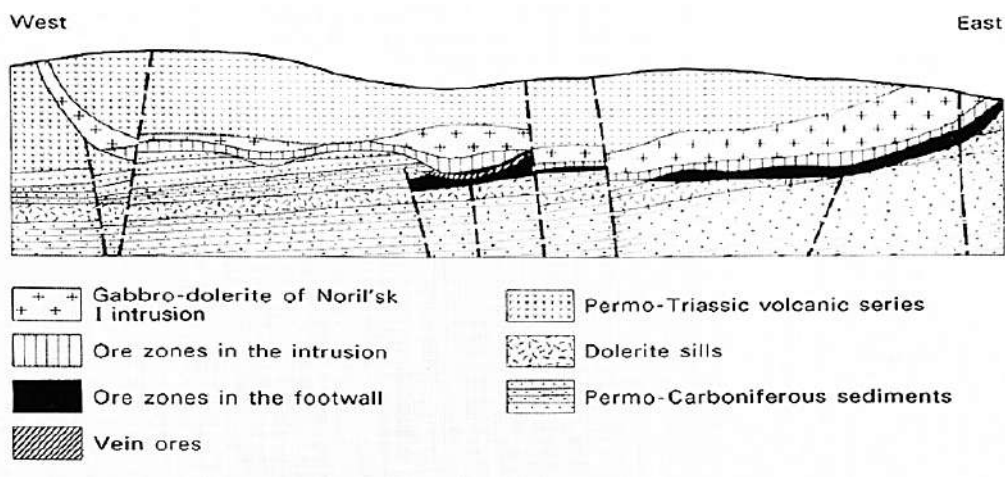


Рис. 10.2. Медно-никелевое месторождение Норильск - I (вертикальный разрез запад-восток)

Силлы габбро-долеритов и долеритовые силлы в окружении пород пермо-триасовой вулканической серии. Зона вкрапленных руд в составе габбро-долеритового силла, зона сплошных и брекчиевых руд в его подошве. Главные рудные минералы: пентландит, халькопирит, пирротин и (магнетит).

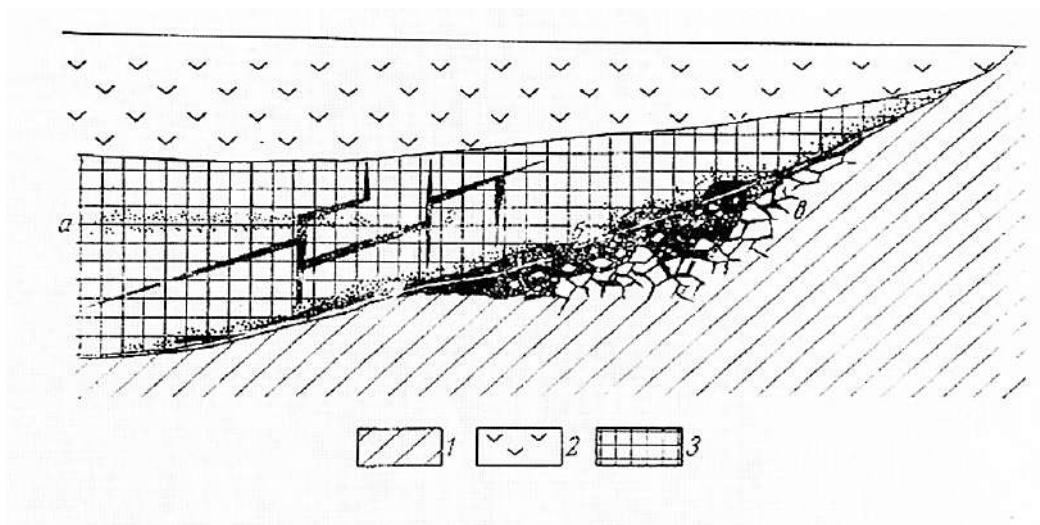


Рис. 10.3. Принципиальная схема размещения рудных тел сульфидных медно- никелевых месторождений (по В.И. Смирнову, 1982). а - висячие вкрапленные; б - донные залежи; в - приконтактовые брекчиевые руды; г - жилы, породы: 1 - подстилающие, 2 - перекрывающие, 3 - вмещающие

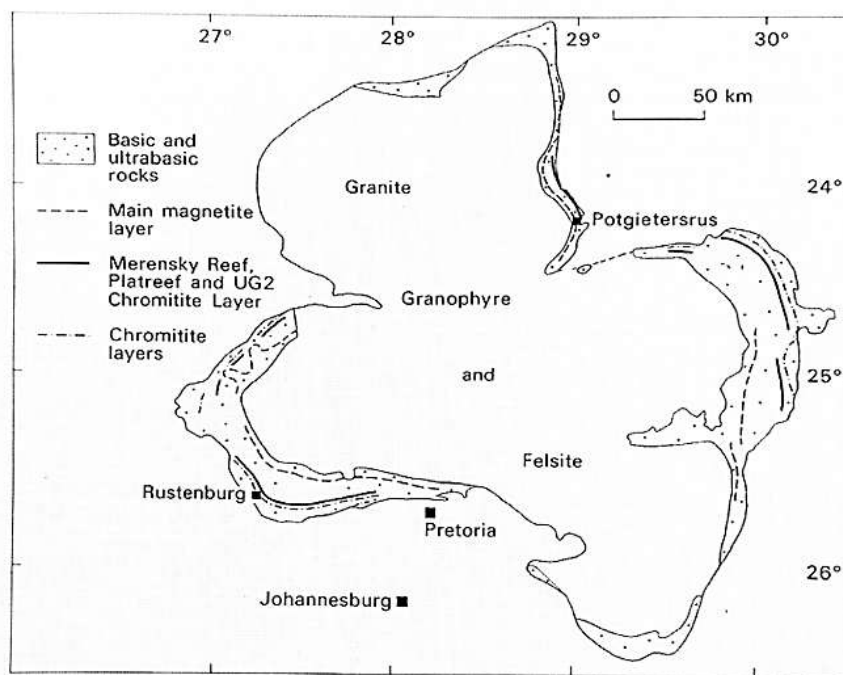


Рис. 10.4. Бушвелдский магматический комплекс в ЮАР (схематический план) (After van Gruenewaldt, 1977)

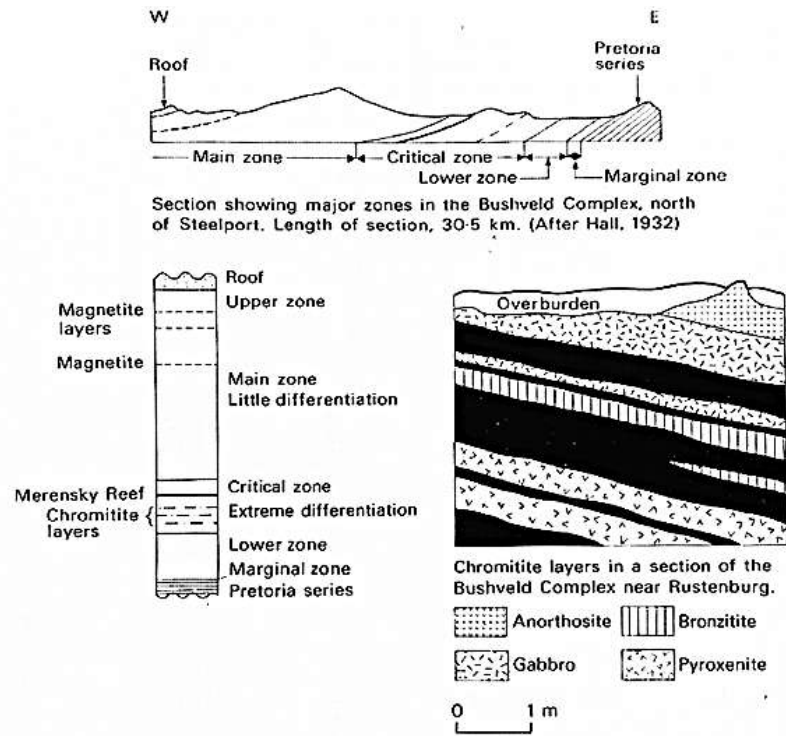


Рис. 10.5. Бушвелдский магматический комплекс в ЮАР (разрезы) (After van Gruenewaldt, 1977)

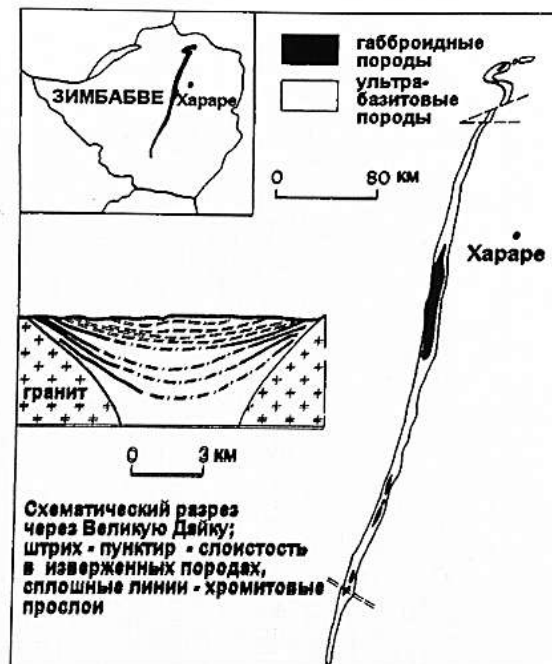


Рис. 10.6. Схематические разрезы по Великой дайке (Зимбабве) с местоположением хромитовых прослоев (по Бичану, 1969)

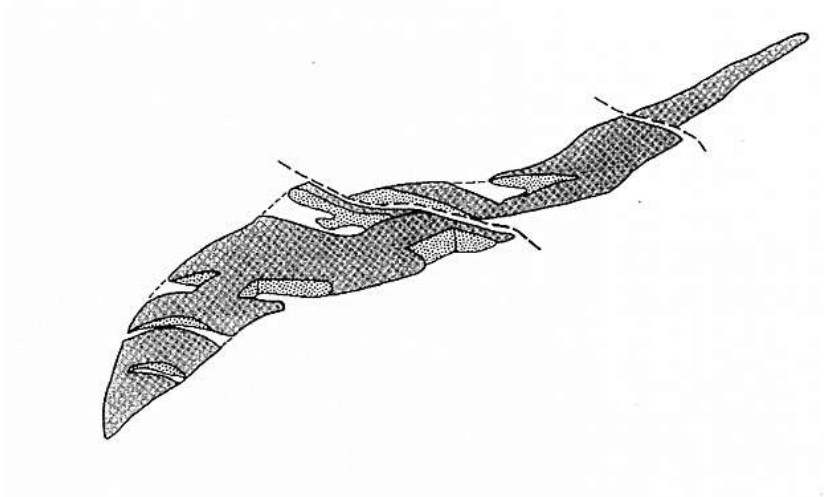


Рис. 10.7. Месторождение Молодежное, южный Урал. Длина 1.54 км, ширина 200-300 м, максимальная мощность 140 м; Запасы руды 90 млн.т. (По Попову и Григорьеву, 1977)

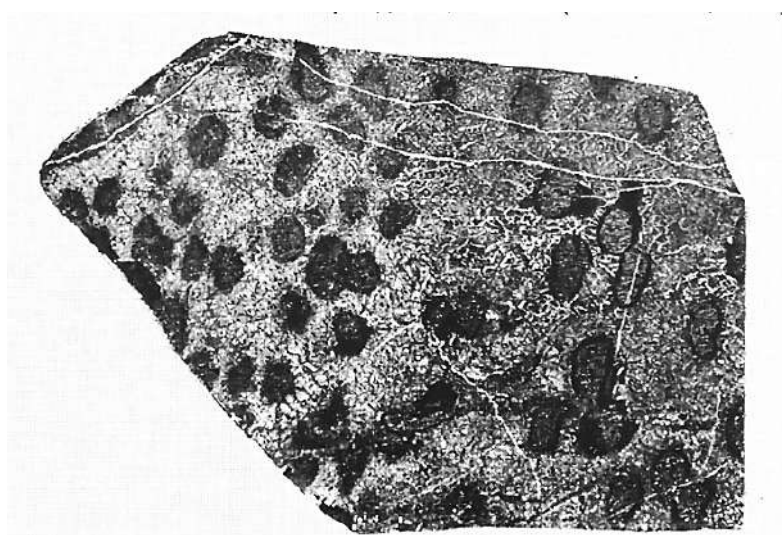


Рис. 10.8. Нодулярная текстура хромитовых руд. Округлые темно-серые выделения хромита (нодулы) имеют кайму закалывания и погружены в светлую основную массу серпентинизированных дунитов. Прожилковые выделения магнетита (белое). Сарановское месторождение, Россия. (По Исаенко, 1983)

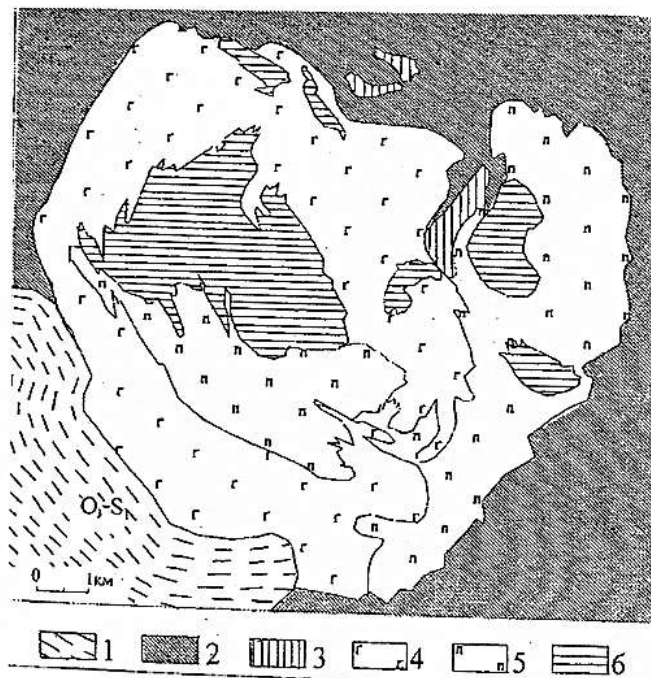


Рис. 10.9. Схематическая геологическая карта Качканарского массива на Урале (по О.К. Иванову). 1 - зеленые сланцы; 2 – пироксен-плаггиоклазовые роговики; 3 - горнblendиты; 4 - габброиды; 5 - клинопироксениты; 6 - магнетитовые клинопироксениты

Рудоносный Качканарский габбро-пироксенитовый плутон (Гусевогорское и собственно Качканарское титаномагнетитовые месторождения) имеет изометричную форму площадью около 110 кв. км. Рудные тела образованы вкрапленностью титаномагнетита, реже шпировыми выделениями и прожилками массивных руд в основном в пироксенитах, габбро и горнblendитах. Текстуры руд от крупно до тонко зернистых вкрапленные. Ильменит (2-8%) фиксируется в структурах распада твердых растворов. Попутный компонент - ванадий.

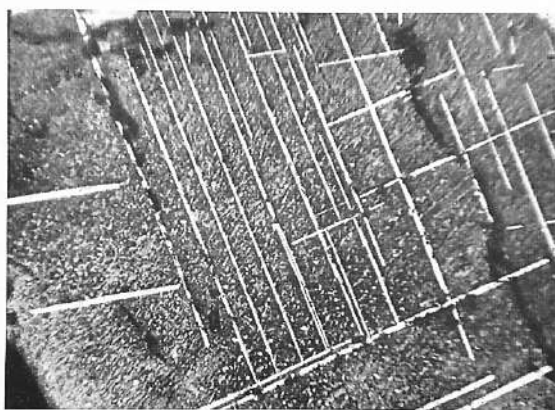


Рис. 10.10. Пластинчатая и решетчатая структуры распада твердого раствора магнетит (серое) + ильменит (белое). Анилиф после травления HCl. Месторождение Алексеевское в Забайкалье, Россия (по Исаенко, 1983)

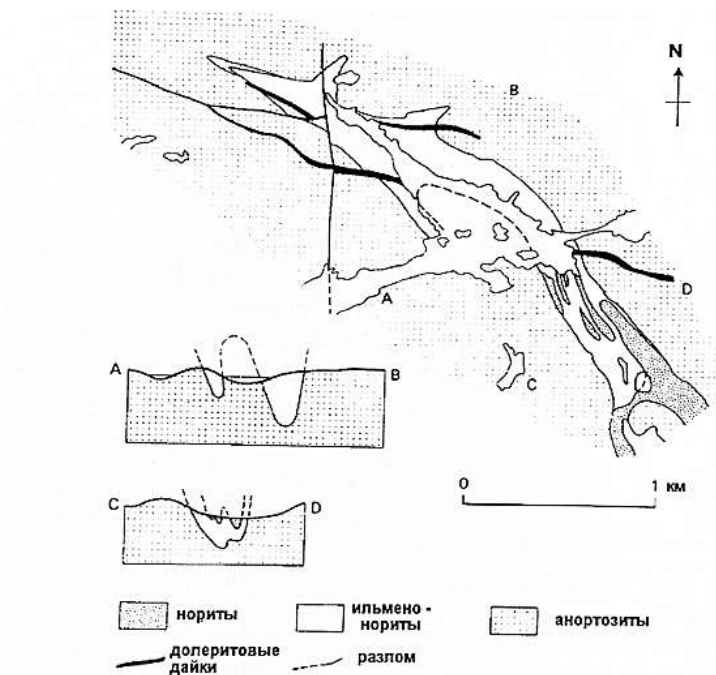


Рис. 10.11. Карта и разрез месторождения титана Теллес в Норвегии (по Дибдахлу, 1960)

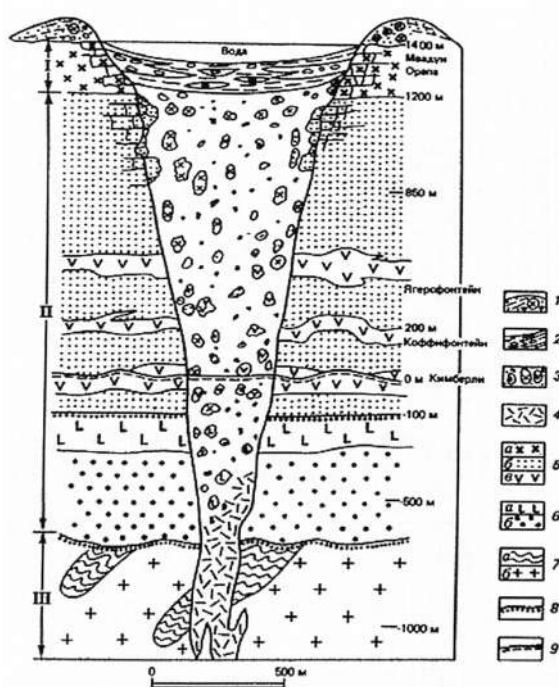


Рис. 10.12. Графическая модель южноафриканских кимберлитовых трубок (по Дж. Хаусону с упрощением). 1- туфы вулканического конуса; 2 - кратерные осадки; 3 - взрывные кимберлитовые брекчи (агломераты, туфы); 4 - интрузивные брекчи и кимберлиты; 5 - породы системы Карру (C1-P-T): а - основные лавы; б - сланцы, песчаники; 6 - система Вентесдорп (PR1): а - андезитовые лавы; б - конгломераты, кварциты; 7 - первичная система

(AR): а - сланцы; б - гранито-гнейсы; 8 - границы систем; 9 - современная поверхность трубок и силлов в поле Кимберли. Части трубок: I - кратерная; II - диатрёмовая; III - канальная

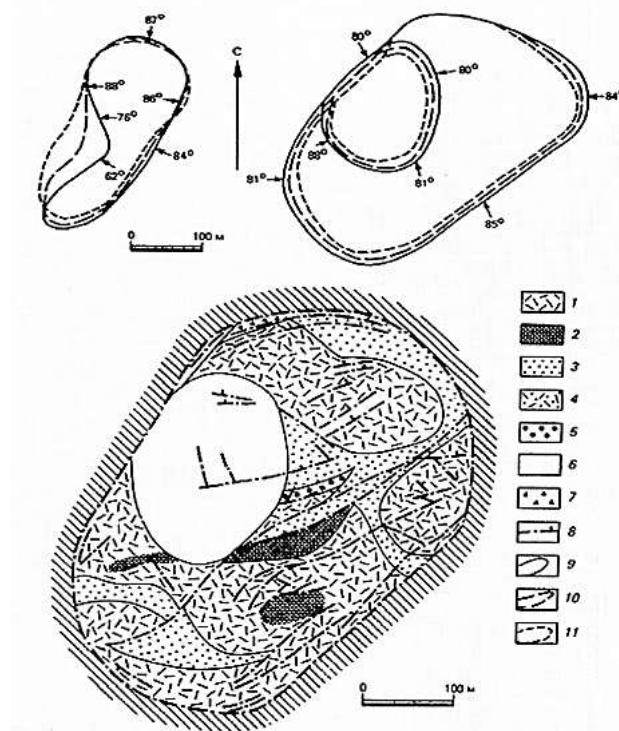


Рис. 10.13. Кимберлитовая трубка Летсенг-ла-терае, Лесото (по П.Никсону). Вверху — контуры главной и сателлитной трубок на трех горизонтах. Внизу — внутреннее строение главной трубки на горизонте 60 м от дневной поверхности. Типы кимберлитов: 1 - голубовато-серые; 2 - коричневые; 3 - серые; 4 - неизменные; 5 - тонкозернистые дунитовые; 6 – зеленовато-серые серпентинизированные; 7 - темные и темно-серо-зеленые; 8 - разломы и их падения. Геологические контуры (вверху): 9 - на поверхности; 10 - на глубине 75 м; 11 - на глубине 160 м

О генезисе алмаза в кимберлитовых и лампроитовых трубках

В проблеме генезиса кимберлитов и лампроитов, считается установленным, что соответствующие магмы поступали из глубинных мантийных очагов, о чем свидетельствуют, в частности, ксенолиты эклогитового и перидотитового слоев верхней мантии.

По экспериментальным и теоретическим данным инверсионная кривая графит-алмаз достигает значений в 35 кбар и 800°C, что соответствует глубинам около 100-110 км на континентах; это принимается за верхнюю границу кристаллизации алмаза. Поскольку в нем устанавливаются включения коэсита, а не более глубинного стишовита (две высокотемпературные и высокобарические модификации кремнезема), нижним пределом кристаллизации алмаза является глубина почти в 300 км, эквивалентная кривой инверсии указанной минеральной пары.

В связи с этим большинство геологов связывают образование алмазов с мантийными условиями за счет, например, углеводородов:

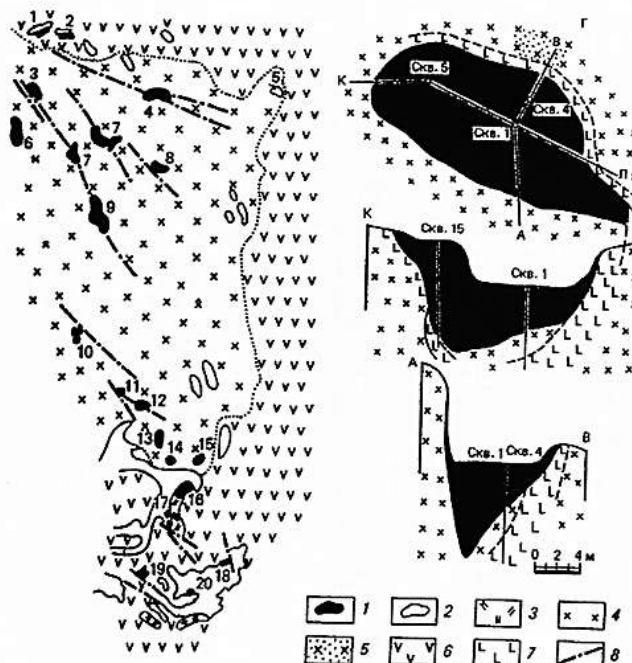
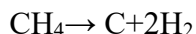


Рис. 10.14. Условные обозначения: 1 - графитовые залежи (цифры на рисунке: 1-Верхняя, 2-Северная, 3-Петровская 4-Корнельевский штук, 5-Аномалия № 4, 6-Аномалия № 18-19, 7-Юго-Западная, 8-Некрасовский штук, 9-Аномалия № 17, 10-Пермикинский штук, 11-штук Новый, 12-Алиберовский штук, 13-Большой штук, 14-Второй южный штук, 15-Юго-Восточный штук, 16-Ильинская, 17-Жила, 18-Клемешевский штук, 19-Южный штук, 20-Гнездо Шарик; 2 - ксенолиты мраморов; 3 - скарновые породы; 4 - лейкократовые нефелиновые сиениты; 5 - нефелиновые сиениты графитизированные; 6 - пироксеновые сиениты; 7 - апокарбонатные фениты; 8 - разрывные нарушения

Хибинский и Ловозерский щелочные массивы на Кольском полуострове

Хибинский массив с многочисленными месторождениями апатит-нефелиновых руд приурочен к тектоническому контакту Имандра - Варзугской зоны карелид и архейских гранито-гнейсов.

Ловозерский массив расположен в пределах грабенообразной структуры, ограниченной глубинными разломами. Грабен заложен в кристаллических породах архея и выполнен среднепалеозойскими вулканогенно-осадочными породами. Главный рудный объект – Ловозерское лопаритовое месторождение.

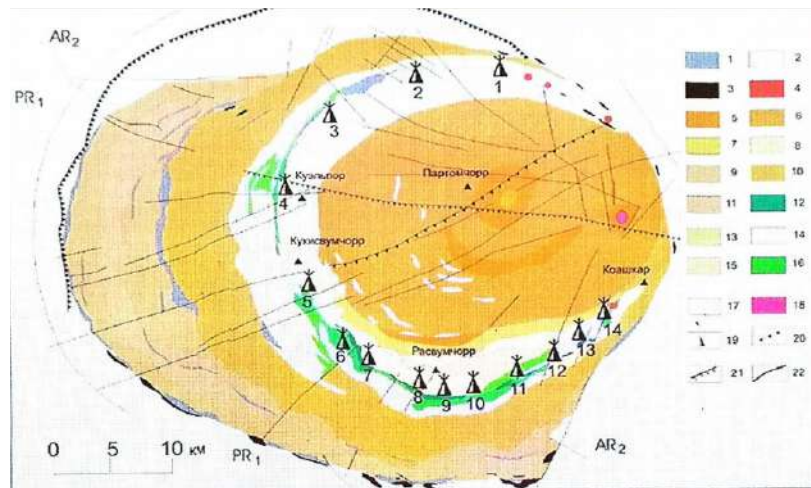


Рис. 10.15. Хибинский щелочной массив с месторождениями и рудопроявлениями апатит-нефелиновых руд 1- Валенахк-Намуайв, 2- Лявочорр, 3- Партомчорр, 4- Куэльпор, 5- Снежный цирк, 6- Кукисвумчорр, 7- Юкспор, 8- Апатитовый цирк, 9- Расвумчорр, 10- Эвслогчорр, 11- Коашива, 132- Вуоннемйок, 13-Ньоркпахк, 14- Олений ручей

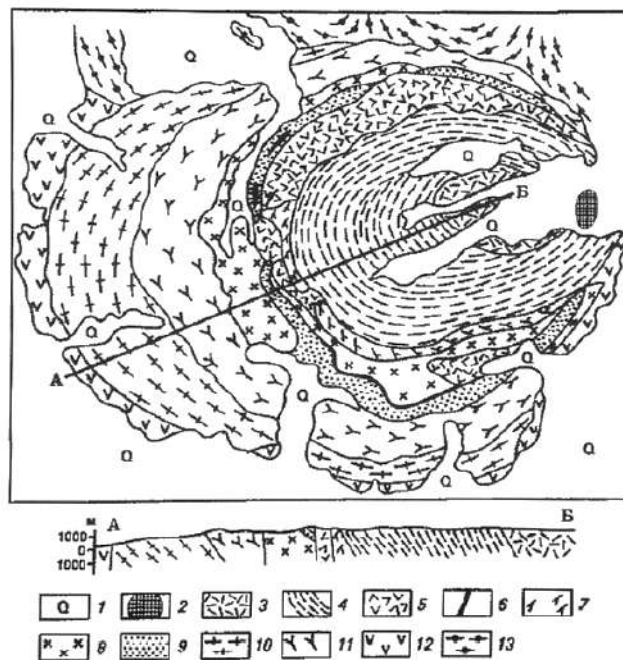


Рис. 10.16. Геологическая схема Хибинского щелочного массива с разрезом (по С.И.Заку, Е.А.Каменеву, Ф.В.Минакову). Условные обозначения: 1 - четвертичные отложения; 2 - карбонаты; 3 - фойяиты массивные; 4 - фойяиты трахитоидные; 5 - лявочорриты; 6 - апатит-нефелиновые и сфен-апатитовые руды; 7 - рисчорриты биотитовые; 8 - рисчорриты эгириновые; 9 - ийолит-уртиты; 10 - хибиниты массивные; 11 - хибиниты трахитоидные; 12 - зеленые и другие сланцы, габбро-диабазы, диабазы среднего протерозоя в приконтактной части, местами ороговикованные; 13 - гнейсовидные диориты и биотитовые гнейсы архея в приконтактной части, местами фенитизированные

Лекция 11

Карбонатиты как группа месторождений в составе магматогенной серии

Карбонатиты - эндогенные скопления кальцита, доломита и др. карбонатов, пространственно и генетически ассоциированные с интрузивами ультраосновного-щелочного состава (УЩК) центрального типа, формирующиеся в обстановке платформенной активизации.

Эндогенная природа карбонатитов подтверждается:

1. Отсутствием карбонатных пород в разрезе вмещающих толщ региона;
2. Цилиндрической или жильной формой карбонатных скоплений с секущими контактами;
3. Многостадийностью образования;
4. Наличием специфических (редкометалльных) минералов, отсутствующих в осадочных породах;
5. Обогащенностью редкоземельными элементами (REE), Sr, La, Nb и др.
6. Иными величинами изотопных соотношений O, C, Mg, Sr.

Магматическая и гидротермальная гипотезы формирования карбонатитов *Свидетельства магматического происхождения:*

1. Наличие типичных ксенолитов вмещающих пород (в том числе ультраосновных, щелочных и фенитов);
2. Наличие флюидных текстур с ориентировкой вдоль карбонатитовых тел;
3. Известны случаи излияния щелочно-углекислых и кальциево-углекислых карбонатитовых лав (Африка);
4. Наличие остывших расплавных включений с температурами 880-850 гр.С

Свидетельства гидротермального происхождения:

1. Наличие постепенных переходов от карбонатитов к окружающим породам;
2. Часто сложные очертания тел карбонатитов;
3. Наличие реликтов незамещенных пород, пронизанных сетью прожилков;
4. Метасоматическая зональность, иногда наблюдаемая у контактов карбонатных и силикатных пород;
5. Зависимость состава темноцветных и акцессорных минералов карбонатитов от состава замещаемых силикатных пород;
6. Избирательный характер карбонатного метасоматоза, при котором гипербазиты и ийолит-мельтейгиты замещаются охотнее нефелиновых и щелочных сиенитов.

Приведенная аргументация позволила В.И.Смирнову в своей генетической классификации месторождений выделить в составе карбонатитовой группы магматический, метасоматический и комбинированный классы.

Массивы ультраосновных-щелочных пород с карбонатитами (УЩК)

Массивы ультраосновных-щелочных пород с карбонатитами (УЩК) известны на всех девяти древних платформах (Сибирская - 52, Восточно-Европейская - 34, Северо-Американская - 77, Южно-Американская - 26, Африканская - 94, Индийская - 15, Китайская - 2, Австралийская - 6, Антарктическая -1) и приурочены исключительно к жестким консолидированным блокам, разбитым глубинными разломами.

Контролирующие их структуры растяжения отвечают рифтогенным этапам деструкции земной коры, проявившимися, начиная с раннего протерозоя, в течение фанерозоя при главных вспышках щелочно-ультраосновного магматизма в рифее-венде и мезо-кайнозое.

Типичные карбонатитовые месторождения широкого металлогенического профиля (Nb, Ta, REE, P, Ti, Fe, Sr, Ba, F) принадлежат рудоносной формации УЩК, являясь продуктами завершающего этапа длительного формирования многофазных интрузивных и вулканоплутонических массивов преимущественно центрального типа.

Главные группы пород массивов УЩК:

- 1) ранние ультраосновные (дуниты, перидотиты, пироксениты);
- 2) щелочные (мельтейгит—ийолиты, щелочные и нефелиновые сиениты);
- 3) ореолы вмещающих пород, подвергшихся щелочному метасоматозу и превратившихся в фениты);
- 4) карбонатиты. Массивы сопровождаются дайковой серией сложного состава.

Последовательно формирующиеся группы пород, образующие массивы УЩК, размещаются в центростремительном направлении от периферии к центру и иногда в обратном, центробежном направлении. Карбонатитовые тела представляют собой штоки, конические жилы, падающие к центру массива, кольцевые жилы, падающие от центра массива, радиальные дайки.

Наиболее распространены кальцитовые карбонатиты (севиты) - CaCO_3 , реже встречаются доломитовые (бефорситы) - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, еще реже анкеритовые $\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg},\text{Mn})(\text{CO}_3)_2$ и совсем редко сидеритовые - FeCO_3 .

Характер минералообразования в карбонатитах

В карбонатитах установлен стадийный характер минералообразования:

- в первую стадию формируются к/з кальциты с минералами Ti и Zn;
- во вторую - с/з кальциты с минералами Ti, U, Th;
- в третью - м/з кальцит-доломитовый агрегат с Nb-минерализацией;
- в четвертую - м/з массы доломит-анкеритового состава с TR-карбонатами.

Таблица 11.1. Содержание Nb, Ta, Zr, U, Th, Ti, TR в главных редкометалльных минералах карбонатитов, % (А.А.Фролов и др., 2005)

Компоненты	Пирохлор	Гатчеттолит	Колумбит	Ферсмит	Дизаналит	Циркелит	Бадделит
Nb ₂ O ₅	53,2-65,7	37,7-47,4	70,08	66,92	10-31	11,0-24,1	0,25-0,84
Ta ₂ O ₅	0,05-2,03	12,0-18,0	Не обн.	2,90	2,5-4,2	0,6-6,54	-
ZrO ₂	0,67-1,71	3,4-5,45			2,2-5,9	21,9-37,6	95,10-97,47
U ₃ O ₈	0,07-0,56	11,5-7,19	0,02	0,18	0,7-1,3	05-2,3	-
ThO ₂	0,36-3,29	2,84-7,10	0,39	0,78	0,2-1,4	1,08-7,6	-
TiO ₂	1,29-5,24	3,8-9,22	4,5	2,63	14,5-49,5	13,5-33,3	0,15-0,21
TR ₂ O ₃	0,9-4,36	1,0-1,52		4,0-5,70	3,18-6,11	2,79-4,58	0,10-0,28

Пирохлор – (Na,Ca,TR,U,Th,Zr)₂(Nb,Ta,Ti)₂O₆(F,OH)₂

Гатчеттолит – (Na,Ca,TR,U,Th)₂(Nb,Ta,Ti)₂O₆(OH)

Колумбит – (Fe,Mn)Nb₂O₆

Ферсмит – (Ca,Ce,Na)((Nb,Ti,Fe)₂O₆(OH,F)

Дизаналит=ниобиевый перовскит – CaTiO₃

Циркелит – (Ca,Th,Ce)Zr(Ti,Nb)₂O₇

Бадделит – ZrO₂

Фации глубинности УЦК систем

Фации глубинности УЦК систем:

- поверхностная (вулканическая) (0,0-0,5 км) - древние и современные (Олданио и Наманго в Африке) вулканические конусы; щелочно-углекислые и кальциево-углекислые лавы;

- гипабиссальная (субвулканическая и плутоническая) (0,5-6,0 км) - силикатные карбонатитоиды (оливиниты, мелилитовые и монтичеллитовые породы; собственно карбонатиты слагают до 10% объема тел); месторождения апатит-магнетитовые, перовскит-магнетитовые, флогопитовые, редкоземельные, редкометалльные, урановые, медные (Сокли, Гулинское, Ессейское, Ковдор, Маунтин Пасс, Араша, Палабора и др);

- абиссальная (плутоническая) (6,0—12,0 км) —пироксениты и карбонатиты—редкометалльное оруденение, представленное гатчеттолитовыми, пирохлоровыми, колумбитовыми, паризит-бастнезитовыми, монацитовыми рудами.

- P-T условия формирования УЩК: образование ультрабазитов—1 300 гр С, мелилитовых пород - 1270 гр С, карбонатитов - 650—260 гр С; рудные фации (от ранних к поздним) - от 650 до 260 гр С; литостатическое давление - в пределах 10-150 МПа, для карбонатитов - 50-300 МПа; флюидное давление (кальцит—доломитовый геобарометр) для гипабиссальных уровней составляло 20-260 МПа.

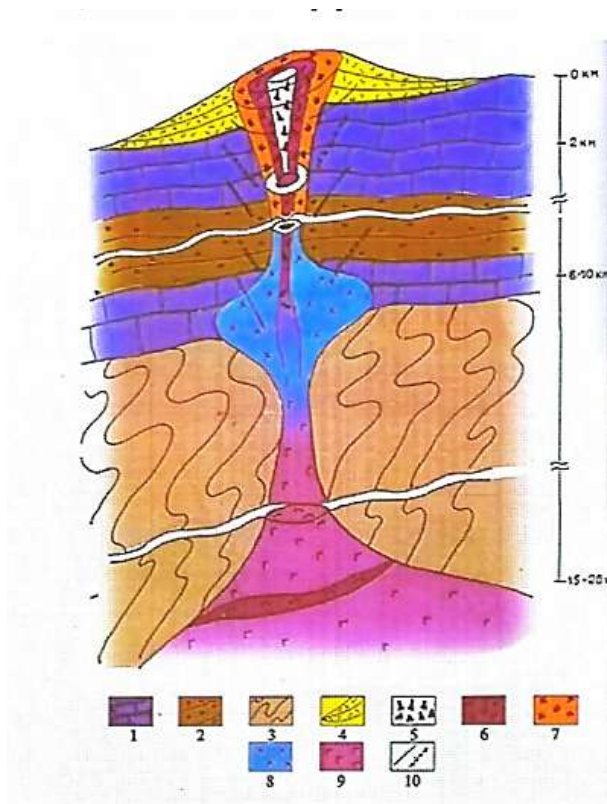


Рис. 11.1 Обобщенная модель массива УЩК. 1-2 - породы платформенные чехла: 1 - карбонатные, 2 - терригенные; 3 - кристаллические породы (фундамента платформы); 4 - вулканогенные образования конуса; 5 - карбонатиты; 6-7 - комплекс щелочных пород верхнего яруса: 6 - сиениты, 7 - фонолиты и их брекчии; 8 – фойдолиты среднего яруса (породы ийолит—мельтейгитовой серии); 9 - ультрамафитовая интрузия нижнего яруса; 10 - дайковая фация щелочных пород и карбонатитов

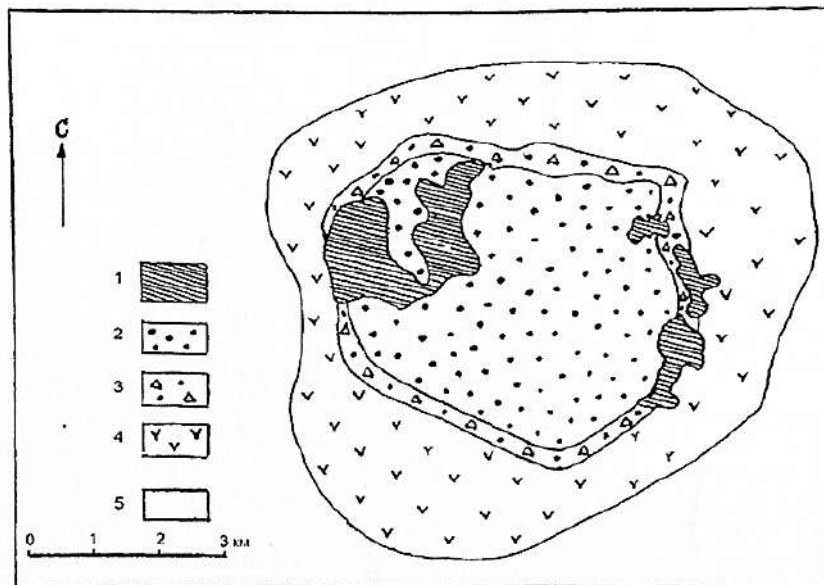


Рис. 11.2. Карбонатитовый комплекс Сокли, Северная Финляндия (по Вартиайнену). Вверху - схематический геологический план. 1 - фосфатная порода; 2 - карбонатит; 3 - карбонатит-фенитовая брекчия; 4 - фенит; 5 - гранито-гнейсы и амфиболиты

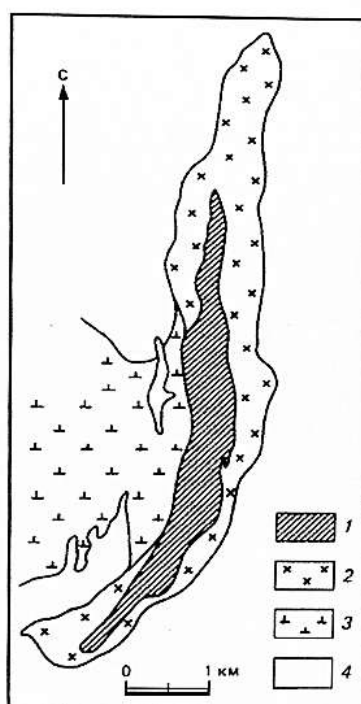


Рис. 11.3. Геологическая схема карбонатитового комплекса Сииклинярви, Центральная Финляндия (по Пуустинену). 1 карбонатиты (глиммерит-севит); 2 -сиениты; 3 - диориты; 4 - гранито-гнейсы

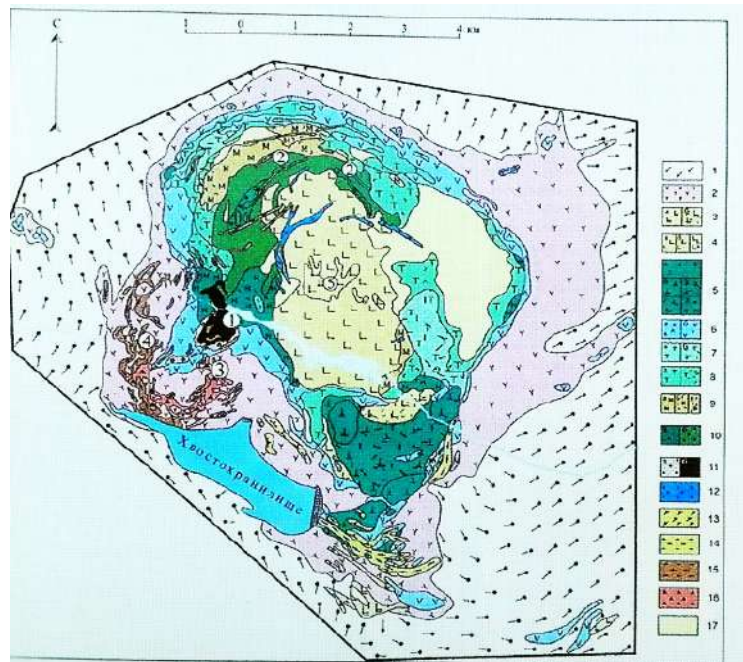


Рис. 11.4. Геологическая карта Ковдорского массива. Месторождения (цифры в кружках): 1 - апатит-магнетитовое; 2 - вермикулит- флогопитовое; 3 - апатит-штарфелитовое; 4 - бадделейт-апатит-магнетитовое; 5 – рудных оливинитов. Условные обозначения: 1 -гнейсы, амфиболиты и мигматиты; 2 - фениты; 3,4 - оливиниты; 5 - пироксениты 6 - нефелин-пироксеновые и др. породы; 7,8 - турьяиты, пироксен-мелилитовые и др.породы; 9-16 - монтичелитовые, форстеритовые и многие др. породы и руды

Формирование Ковдорского массива

Первая фаза

Магматические оливиниты (центральное ядро)

Вторая фаза

Магматические щелочные породы: ийолит-мельтейгиты и ийолит-уртиты (периферия)

Магматические метасоматиты по оливинитам (от ийолит-мельтейгитов к оливинитам: щелочные пироксениты→пироксенизированные оливиниты; от ийолит-уртитов к оливинитам: мелилитовые породы→монтичеллиты.

Ореол фенитизации (К—метасоматоз) во вмещающих архейских гнейсах и мигматитах

Третья фаза

Постмагматические метасоматиты (Вначале - гранат-амфибол-везувиан-диопсид кальцитовые скарны; далее - флогопит-диопсид-оливиновые породы (флогопитовый комплекс; наконец - апатит-магнетитовые руды).

Дайки полевошпатовых ийопитов третьей фазы внедрения (породы флогопитового комплекса секутся этими дайками).

Четвертая фаза

Магматические карбонатиты (жилы и неправильные тела) во всех породах массива и на окружающих его архейских метаморфических толщах беломорского комплекса.

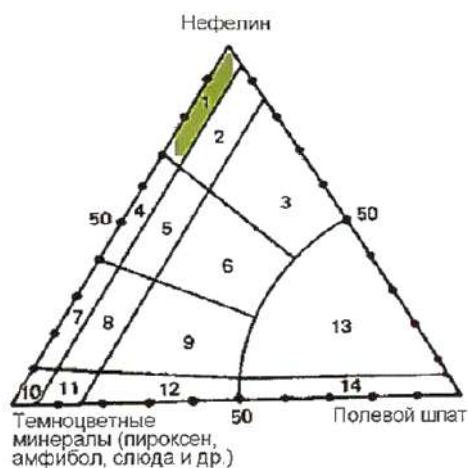


Рис. 11.5. Диаграмма минерального состава щелочных пород (по Н.А. Елисееву с дополнениями Е.А.Каменева и Ф.В. Минакова). 1-уртиты, 2-полевошпатовые уртиты, 3-ювиты, 4-ийолиты, 5-полевошпатовые ийолиты, 6-малиниты, 7-мельтейгиты, 8-полевошпатовые мельтейгиты, 9-меланократовые малиниты, 10-якупирангиты, 11-полевошпатовые якупирангиты, 12-щелочные габброиды, 13-щелочные сиениты

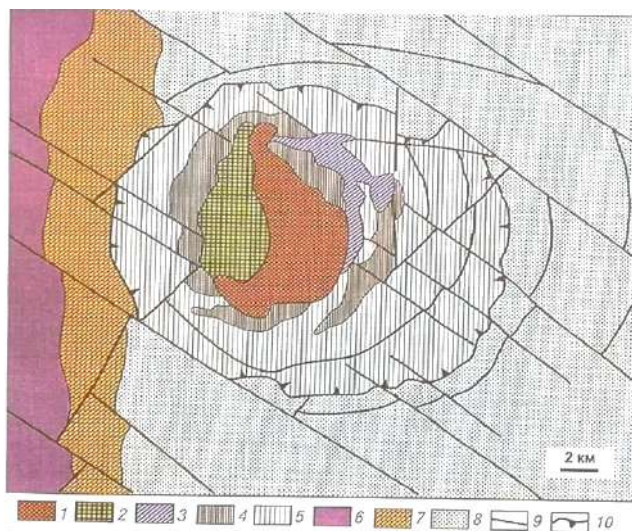


Рис. 11.6. Пирохлор-монацит-апатитовое месторождение Томтор (уникальное по Nb, REE, P). 1 - рудоносные карбонатиты; 2 - безрудные карбонатиты; 3 - карбонатитоиды; 4 -

ийолит-мельтейгиты; 5 - нефелиновые и щелочные сиениты; 6 - кембрийские породы; 7 - томторская свита, венд; 8 - рифейсиваские отложения; 9 - разрывные нарушения; 10 - границы массива Томтор

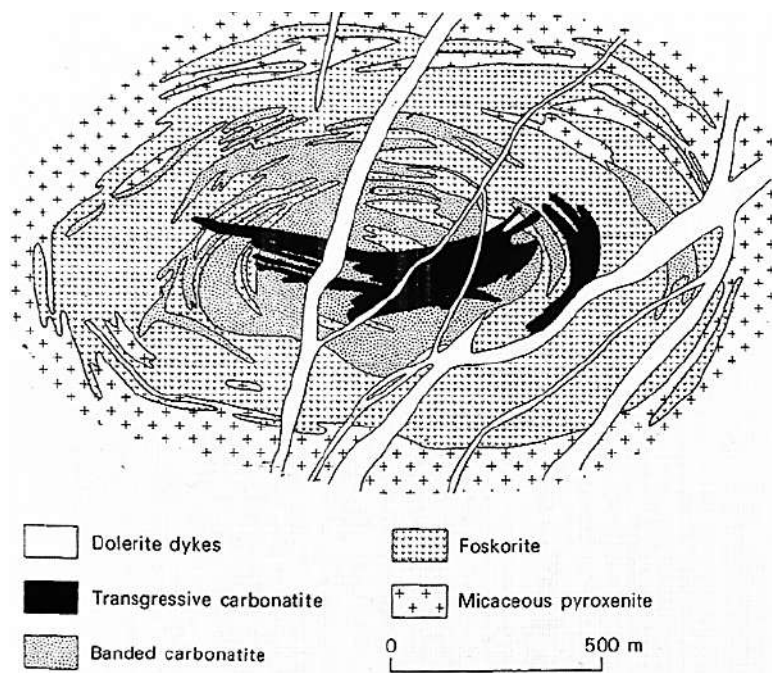


Рис. 11.7. Карбонатитвый комплекс Люлекоп, Палабора (ЮАР). 1 - дайки долеритов; 2 - массивные карбонатиты, 3 – прожилково-полосчатые карбонатиты; 4 - фоскориты (магнетит+оливин+апатит); 5 - слюдистые пироксениты

На схеме - план горизонта +122 м центрального трубообразного тела, прослеженного на глубину более 1 км. В карбонатитах и фоскоритах (камафоритах) - прожилки сульфидов меди. Содержание Cu - 0,69; запасы Cu - руды ~ 300 млн т; попутно-Fe, P, Au, Ag, PGE, Zr, U, Ni.

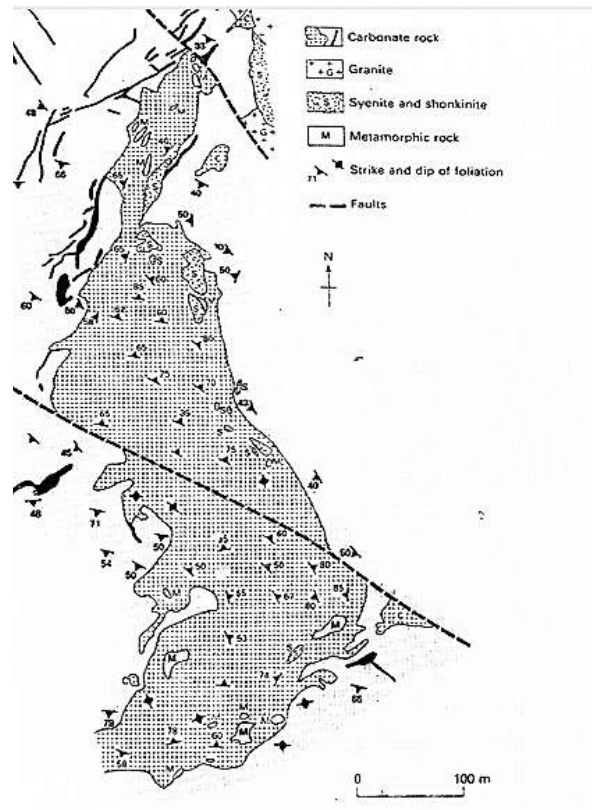


Рис. 11.8. Рудное тело «Сульфайд Куин» в составе пояса карбонатитов «Маунтин Пасс»

Пояс карбонатитов «Маунтин Пасс» длиной ок. 10 км, шириной ок. 2,5 км: богатые калием изверженные породы (в т.ч. карбонатиты) интрузируют метаморфические породы докембрия.

В рудном теле более 200 жил мощностью до 2-х м. Состав: кальцит, доломит, анкерит, сидерит, барит, кварц. REE-минерализация:

- бастнезит $(Ce, La)(CO_3)F$;
- паризит $Ca(Ce, La)_2(CO_3)_3F_2$

Содержание REE в карбонатите 545% (!). Это одно из крупнейших в мире REE-месторождений. Его эксплуатация возобновлена.

Лекция 12

Пегматиты как группа месторождений в составе магматогенной серии

Пегматит - разноминеральная грубоминеральная порода с диаметром большинства зерен более 1 см, залегающая в виде неправильной формы даек, линз, жил, гнезд, штокообразных и других тел, главные минералы которых те же, что и магматической материнской породы. Пегматиты обычно богаты минералами, содержащими H₂O, F, Cl, REE и рассеянные элементы. (Петрографический словарь, М., Недра, 1981)

Пегматиты как изверженные, преимущественно жильные породы, обладают:

- крупными размерами слагающих минералов;
- повышенным содержанием минералов, содержащих летучие компоненты - H₂O, F, Cl, Br и др.;
- сложным и разнообразным минеральным составом, в котором наряду с главными минералами, общими для пегматитов и материнских пород, присутствуют минералы редких и рассеянных элементов (Li, Rb, Cs, Be, Nb, Ta, Zr, Hf, Th, U, Sc и др.)
- наличием минералов, как продуктов метасоматического замещения и гидролиза полевых шпатов; например, образование листового мусковита в составе т.н. «кварц-мусковитового комплекса»:



ортоклаз вода мусковит кварц раствор



Альбит ортоклаз вода мусковит кварц р-р

Пегматиты образуют:

- Гнездообразные обособления в самих интрузивах, постепенно переходя в материнские породы;
- Разнообразные по форме, размеру и внутреннему строению жилы, плито-, линзо- и столбообразные тела, секущие с резкими контактами вмещающие их разнообразные изверженные, метаморфические и осадочные породы.

Подавляющее количество пегматитов ассоциировано с кислыми магмами (гранитами, гранодиоритами), реже - со щелочными (сиенитами, нефелиновыми сиенитами) и основными (габбро). Они известны (но не типичны!) для других формаций (например, для перидотитовой) магматических пород. Причем все эти формации являются глубинными: в приповерхностных и вулканических формациях пегматиты не образуются

Пегматиты по составу изверженных пород

По составу материнских изверженных пород различают:

- гранитные пегматиты (наиболее распространены), подразделяемые на
 - а) глубинные (свыше 6 км) - керамические (кварц, микроклин) и слюдяные (мусковит),
 - б) среднеглубинные (4-6 км) - редкометалльные (Li, Cs, Be, Ta, Sn),
 - в) малоглубинные (3-4 км) - пьезооптического сырья (горный хрусталь и оптический флюорит);
- связанные с ультраосновными породами (иногда с изумрудом, фенакитом, хризобериллом);
- связанные с основным породами;
- связанные со щелочными породами (циркон, эвдиалит, пироклор, сфен и др. минералы, содержащие Ti, Be, Th, Nb, Li и др.).

Простые, перекристаллизованные и метасоматически измененные пегматиты

В группе пегматитовых месторождений В.И. Смирнов выделяет три класса простых, перекристаллизованных и метасоматически измененных пегматитов.

Простые (керамические) пегматиты сложены K-Na полевыми шпатами и кварцем с небольшой примесью светлой слюды, турмалина и граната. В них широко развиты так называемые письменные (гранитные) структуры, отсутствуют следы перекристаллизации, зональной дифференциации и метасоматической переработки. Это - комплексное керамическое сырье (производство фарфора и фаянса). Отношение кварца и полевых шпатов составляет 1:3.

Перекристаллизованные (мусковитовые) пегматиты – крупно- и гигантозернистые, обусловлены перекристаллизацией вещества под влиянием горячих газовой-жидких растворов, равновесных составу ранее выделившихся соединений. В ходе перекристаллизации помимо кварца и калиевого полевого шпата как результат гидролиза последнего формируется мусковит - наиболее ценный минерал этого класса месторождений:



ортоклаз вода мусковит кварц p-p

Метасоматически-замещенные (редкометалльные) пегматиты являются продуктом не только перекристаллизации, но и метасоматической переработки газовой-водными минерализованными растворами, химически неравновесными к составу пегматитообразующей массы. Они характеризуются сложным зональным строением,

осложненным скоплениями метасоматического альбита, грейзена и сопровождающими их минералами редких металлов, горного хрусталя и драгоценных камней, наличием крупных открытых полостей с друзами оптического флюорита, драгоценных камней, Li, Be, Cs, Rb; нередко это руды Sn, W, Th, U, Nb, Ta, REE.

Гипотезы образования пегматитов

Гипотезы образования пегматитов:

- из остаточной магмы, обогащенной летучими, путем длительной кристаллизации с последовательным выделением различных минеральных ассоциаций; В конце многофазового процесса - явления замещения более ранних минералов (А.Е.Ферсман, К.А.Власов);

- из м/з материнских изверженных пород путем перекристаллизации под влиянием поступающих постмагматических гидротермальных растворов (А.Н.Заварицкий, Д.С.Коржинский, за рубежом — У.Т.Шаллер, Хесс и др.).

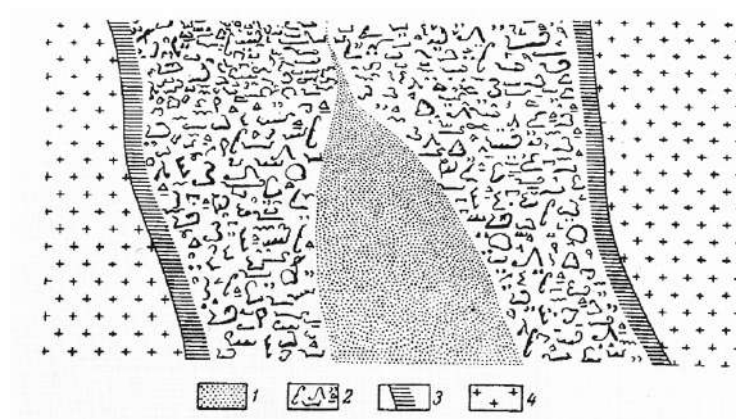


Рис. 12.1. Структура простого пегматита. 1 — кварцевое ядро; 2 — пегматит письменной структуры; 3 — слюдяная отсрочка; 4 — гранит

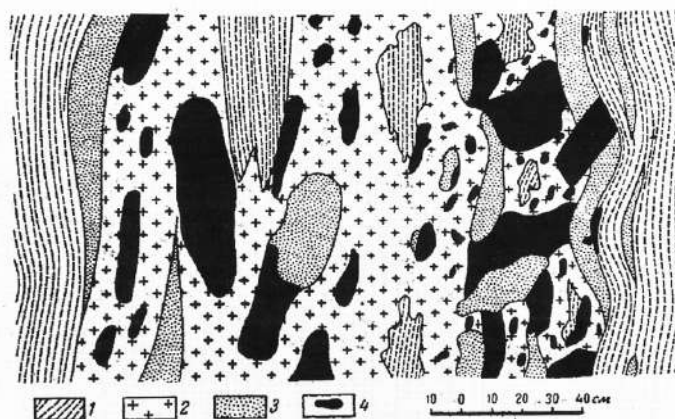


Рис. 12.2. Сечение перекристаллизованного пегматита (по Г. Кулешову и др.). Жила №4 Слюдяногорского месторождения (зарисовка). 1-гнейсы, 2-мелко- и среднезернистый пегматит, 3-кварц, 4-мусковит

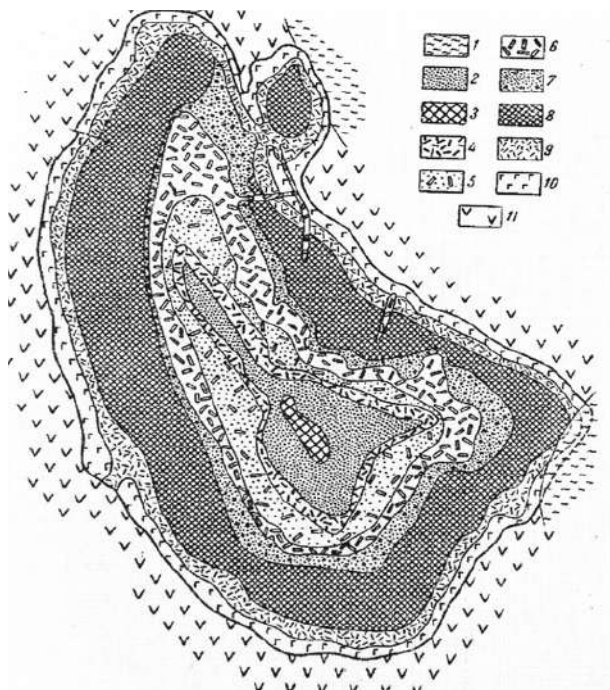


Рис. 12.3. Сечение метасоматически замещенного пегматита (по Н. Солодову). 1 - наносы; 2 - блоковый кварц; 3 - крупноблоковый микроклин-2; 4 - мелкопластинчатый альбит; 5 - кварц, сподумен; 6 - клевандит, сподумен; 7 - кварц-мусковитовые гнезда; 8 - крупноблоковый микроклин-1; 9 - гнезда мелкозернистого альбита; 10 - графическая зона кварц-микроклиновая (местами сильно альбитизирована); 11 - вмещающие породы

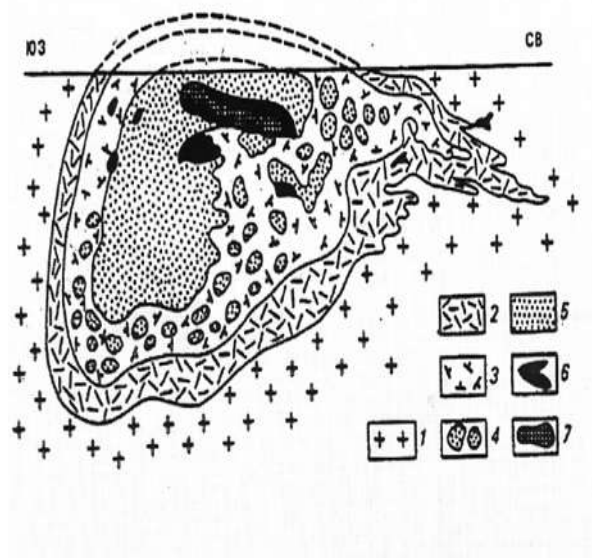


Рис. 12.4. Схематический геологический разрез через пегматитовое тело месторождения оптического флюорита (по В.Д.Эфросу). 1 - граниты лейкократовые, среднезернистые; 2 - зона графического пегматита; 3 - полевошпатовая зона; 4 - блоковая зона; 5 - кварцевое ядро; 6 - гнезда (: кристаллами плавикового шпата и оптического флюорита); 7 - гнезда с кристаллами кварца

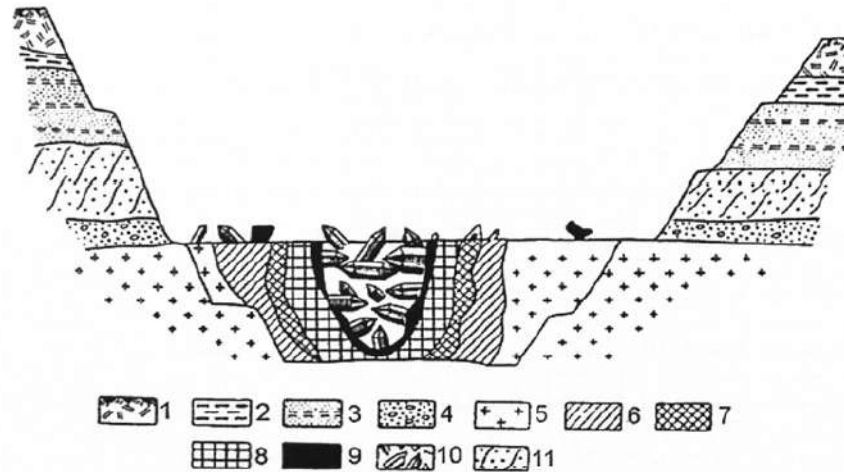


Рис. 12.5. Схематический геологический разрез через пегматитовое тело (по Н.П.Ермакову). 1 - почвенно-растительный слой; 2 - суглинок; 3 - песок с прослоями глины; 4 - песок с кварцем и кремнем; 5 - гранит каолинизированный; 6 - графическая зона; 7 - пегматоидная зона; 8 - зона полевых шпатов; 9 - зона массивного кварца; 10 - зона свободного роста кристаллов; 11 - песок косослоистый

Драгоценные и поделочные камни пегматитов

Драгоценные и поделочные камни пегматитов (преимущественно минералы занорышей):

- благородный берилл $\text{Be}_2\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$: изумруд (травяно-зеленый), аквамарин (голубой, иногда с зеленоватым оттенком), воробьевит (розовый), гелиодор (золотисто-желтый), биксбит землянично-красный), аквамарин-максис (сапфирово—синий) и др.

- хризоберилл BeAl_2O_4 : александрит (изумрудно-зеленый при дневном освещении), хризоберилл (зеленовато-желтый)

- топаз $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{F},\text{OH})$ (внутренняя игра света и разнообразные окраски - голубая, синяя, розовая, фиолетовая, желтая и др.)

- сподумен $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$: кунцит (сиреневый), гидденит (зеленый)

- гиацинт - ZrSiO_4 -разновидность циркона

- эвклаз $\text{BeAlSiO}_4(\text{OH})$

- фенакит Be_2SiO_4 , турмалин

- бенитоит $\text{BaTiSi}_3\text{O}_9$,

- кварц SiO_2 : горный хрусталь, морион (черный), розовый кварц

- касситерит SnO_2

- амазонит - $KAlSi_3O_9$ - зеленая разновидность микроклина

а также иризирующие полевые шпаты, графический пегматит и др.

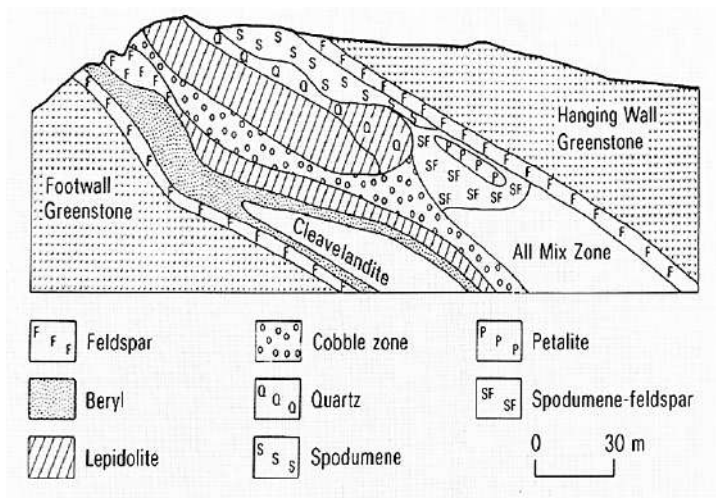


Рис. 12.6. Пегматитовое месторождение Бикита, Зимбабве. Зональная структура в поперечном разрезе (Afuer Symons, 1961)

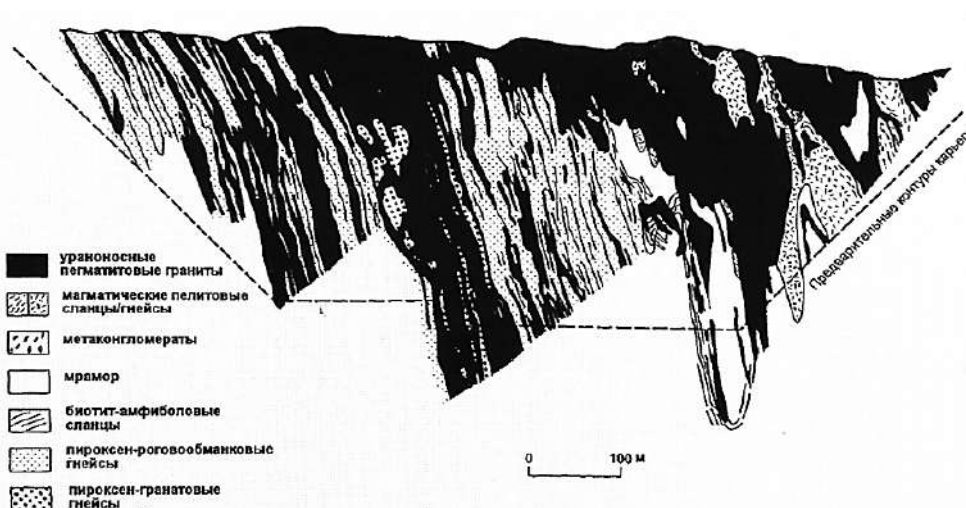


Рис. 12.7. Поперечный разрез уранового месторождения Россинг (Намбия).
Ураноносные пегматитовые граниты среди гнейсов, сланцев, метаконгломератов и мраморов.
Среднее содержание U_3O_8 в руде=0,031%. Уранинит- UO_2

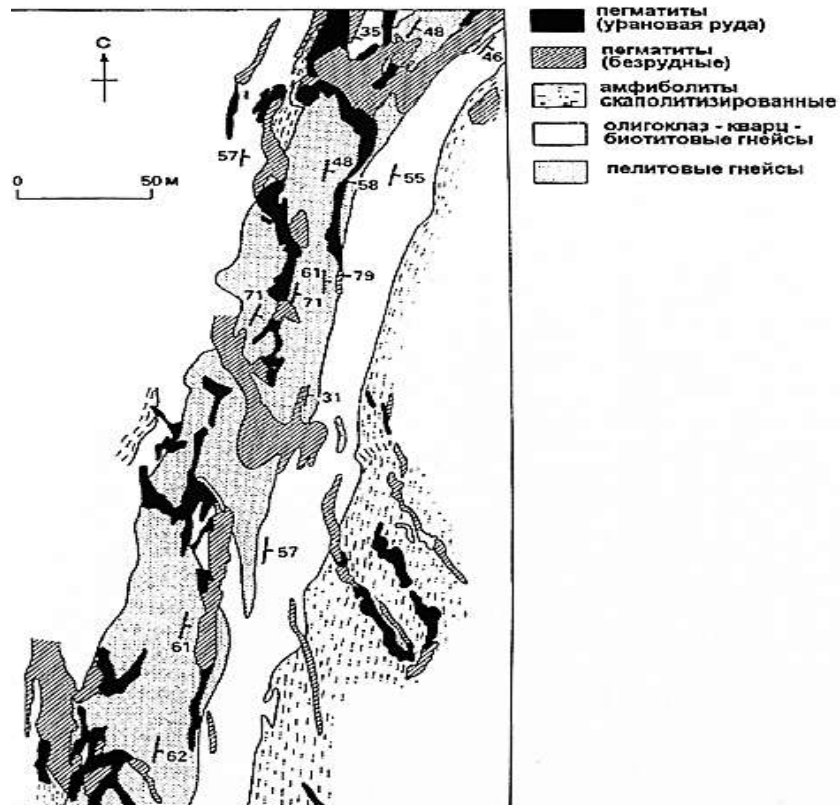


Рис. 12.8. Урановое месторождение Биркрофт (провинция Онтарио, Канада)

Лекция 13

Альбититовые и грейзеновые месторождения

Для начала необходимо вспомнить, что такое метасоматоз.

Метасоматоз - процесс замещения одних минералов или горных пород другими с изменением химического состава при взаимодействии горной породы с расплавом, газовой фазой или раствором. При метасоматозе растворение старых и образование новых минералов происходит почти одновременно, так что порода сохраняет твердое состояние в течение всего процесса. Изменение в породе H_2O и CO_2 к метасоматозу не относится.

Альбититы и грейзены

Это специфические метасоматические образования (породы), обычно пространственно связанные с апикальными выступами массивов кислых и щелочных пород, подвергнувшихся постмагматическому щелочному метасоматозу.

Альбитит - лейкократовая порода, в которой на фоне мелкозернистой основной массы, сложенной альбитом (натриевый плагиоклаз - $NaAlSi_3O_8$), отмечаются порфиновые выделения кварца (SiO_2) и микроклина (калиевый полевой шпат — $KAlSi_3O_8$), а также пластинки слюд или щелочного амфибола, реже пироксена.

Грейзен - состоит из агрегата слюды (мусковит - $KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$, биотит - $K(Mg,Fe)_3(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$, циннвальдит - $KLiFeAl(Si_3Al)O_{10}(OH,F)_2$) и кварца с примесью турмалина, топаза, флюорита, и сопровождающих их рудных минералов (касситерита - SnO_2 , вольфрамита - $(Mn,Fe)WO_4$, молибденита - MoS_2 , берилла - $Be_3Al_2Si_6O_{18}$, литиевых слюд).

Суть метасоматического преобразования гранитных куполов и их апофиз состоит в том, что эти породы альбитизируются (т.е. происходит замещение калия натрием), при этом освобождающийся калий выносится и связывается в форме грейзенов, накапливающихся на границе альбитизированных гранитов и вмещающих их пород, а также среди последних близ кровли интрузивов.

Например, в верхних частях нормальных гранитов фиксируется зональность (снизу-вверх): биотитовый гранит → двуслюдяной гранит → альбитизированный гранит → альбитит → грейзен.

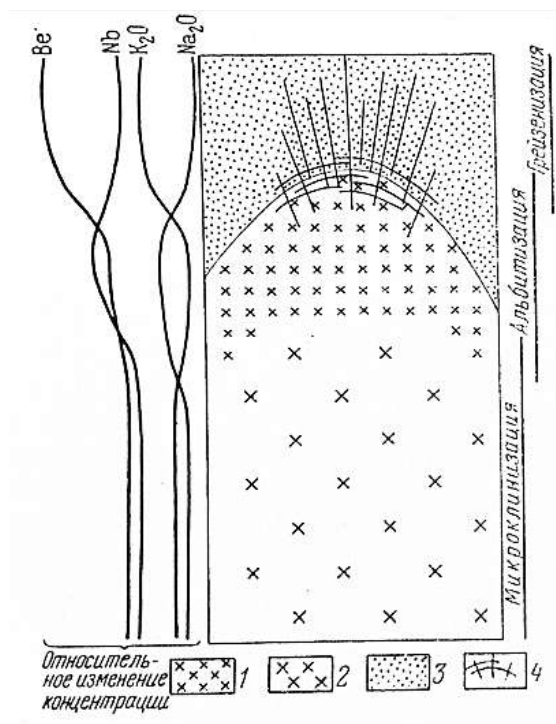


Рис. 13.1. Схема перераспределения некоторых элементов при метасоматическом преобразовании гранитов (В.И.Смирнов, 1989). Условные обозначения: 1 - альбит - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$; 2 - микроклинизированный гранит (микроклин - KAlSi_3O_8); 3 - породы кровли; 4 - грейзены (слюда+кварц)

Zn, Nb, Th накапливаются в альбититах; Be, Li, Sn, W накапливаются в грейзенах

Таблица 13.1. Изменение содержаний (%) важнейших породообразующих элементов в процессе возникновения альбититов и грейзенов по гранитам Казахстана

Оксиды	Граниты	Альбититы	Грейзены
SiO_2	75,10-77,16	61,46-74,44	44,07-54,84
Al_2O_3	12,22-13,74	11,57-13,89	19,08-34,52
CaO	0,47-1,19	1,30-1,56	0,00-2,38
Na_2O	2,08-3,98	5,35-6,74	0,30-1,59
K_2O	3,82-4,69	2,55-3,86	5,29-9,00

Процесс образования альбититов и грейзенов не ограничивается лишь перераспределением в породе калия и натрия, но и характеризуется очисткой исходной породы от других элементов (в том числе и металлов), переотложением их либо в альбититах, либо в грейзенах. Такие металлы, как Zn, Nb, Th накапливаются в альбититах, а Be, Li, Sn, W - в грейзенах. Таким образом, первые являются типоморфными для альбититов, а вторые - для грейзенов.

В процессе перегруппировки типоморфных металлов альбититов и грейзенов фиксируется их отчетливый вынос из нижней («подрудной») зоны. Например, содержание Sn в неизмененных (исходных) гранитах (пример) составляет 26 г/т, а в измененных оно снижается до 4-5 г/т; при этом установлено, что в первых оно концентрировалось в биотите (200-300 г/т), а во-вторых, где этот минерал замещается мусковитом, в последнем содержания Sn резко меньше (20-30 г/т, то-есть на порядок).

Наряду с «классическими» альбититами существуют еще два их специфических вида - фениты и линейные альбититы.

Таблица 13.2. Изменение содержаний (г/т) типоморфных металлов в процессе возникновения альбититов и грейзенов по гранитам

Металл	Кларк	Граниты безрудные	Граниты рудоносные	Альбититы	Грейзены
Nb	2,0	26	61	1000	Нет свед.
Be	5,5	3	17	72	1000
Li	40,0	40	140	100	1000
Sn	3,0	5	26	50	3000
W	1,5	2	60	5	5000

Зависимость минерального состава альбититов от щелочности исходных пород

Таблица 13.3. Зависимость минерального состава альбититов от щелочности исходных пород

Исходная порода	Состав альбититов
1. апограниты нормального ряда	мусковит-микроклин-кварц-альбитовая порода с ведущим <i>Be</i>
2. субщелочные апограниты	литионит-микроклин-кварц-альбитовая порода с ведущими <i>Li, Rb, Ta, Nb</i>
3. щелочные апограниты	биотит-кварц-альбитовая порода с ведущими <i>Zr, Nb, REE (Y)</i>
4. апонелефиновые породы	нефелин-микроклин-альбитовая порода <i>Zr, Nb, REE (Ce)</i>

Фениты и линейные альбититы

Фениты - продукты щелочного (Na, K) метасоматоза, образующие ореолы вокруг массивов щелочных пород, особенно при их внедрении в гранито-гнейсы. Порядок событий:

- вначале - высокотемпературный K-метасоматоз с образованием зон КПШ ($KAlSi_3O_8$ - микроклин);

- затем - более низкотемпературный Na-метасоматоз с образованием альбититов ($NaAlSi_3O_8$ - альбит).

Среди фенитов различают K-, Na-, K-Na (смешанные) полевошпатовые метасоматиты, причем преобладают Na-метасоматиты, то-есть альбититы.

Линейные альбититы локализованы вдоль зон глубинных разломов в кристаллическом основании вне видимой связи с магматизмом. Под воздействием восходящих по этим разломам химически активных горячих флюидов (H_2O , CO_2 , K, Na) снизу вверх образуются:

- (8-10 км) K-метасоматиты с бериллиевыми (фенакит) рудами
- (6-8 км) K-Na-метасоматиты с тантал-ниобиевыми (пирохлор) рудами;
- (4-6 км) Na-метасоматиты (альбититы) с U-рудами (уранинит, браннерит, настуран и др.)

Ценные минералы руд альбититов и грейзенов

Nb изоморфной ряд колумбит-танталит: $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6$

Изоморфный ряд пироклор-микрولит: $(\text{Ca}, \text{Na})_2(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$, O только у микрولита

Zr циркон: ZrSiO_4

U уранинит: UO_2 коффинит: $\text{U}(\text{SiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$

Уранофан: $\text{Ca}(\text{UO}_2)\text{Si}_3\text{O}_3(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Отенит: $\text{Ca}(\text{UO}_2, \text{PO}_4)_2 \cdot 8-12\text{H}_2\text{O}$

Th торанит: ThO_2 (изоморфен с уранинитом и с церцианитом)

Монацит: $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})\text{PO}_4$

REE монацит: $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})\text{PO}_4$ церцианит: CeO_2

Ортит (алланит): $(\text{Ce}, \text{Ca}, \text{Y})_2(\text{Al}, \text{Fe})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$

Li цинновальдит: $\text{KLiFeAl}(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$

Лепидолит: $\text{K}(\text{LiAl})_3(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2$

Be берилл: $\text{Be}_3\text{Al}_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$ фенкаит: Be_2SiO_4

Бертрандит: $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$ гельвин: $\text{Mn}_4\text{Be}_3(\text{SiO}_4)_3\text{S}$

Хризоберилл: BeAl_2O_4

Sn касситерит: SnO_2

W вольфрамит (изоморфный ряд ферберит-гюбнерит): $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$

Mo молибденит: MoS_2

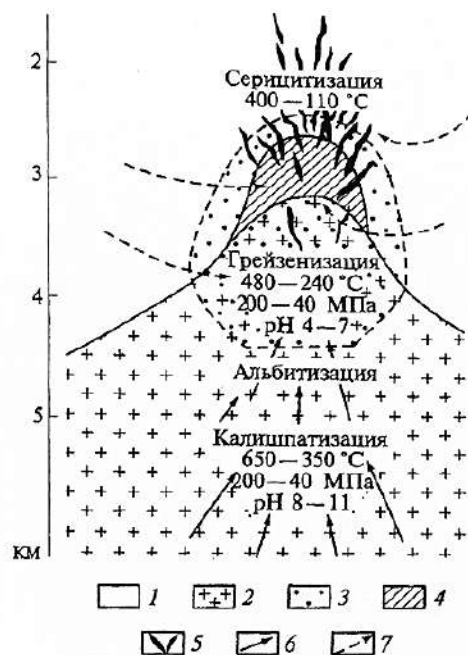


Рис. 13.2. Модель формирования грейзеновых месторождений (В.А. Авдонин, В.И. Старостин, 2010). Условные обозначения: 1-вмещающая осадочная толща, 1-гранитный массив, 3-область грейзенизации, 4-грейзены с рассеянной рудной минерализацией (W, Mo, Sn), 5-кварцево-рудные жилы, 6-направление движения рудообразующих растворов, 7-подток подземных вод в рудообразующую систему

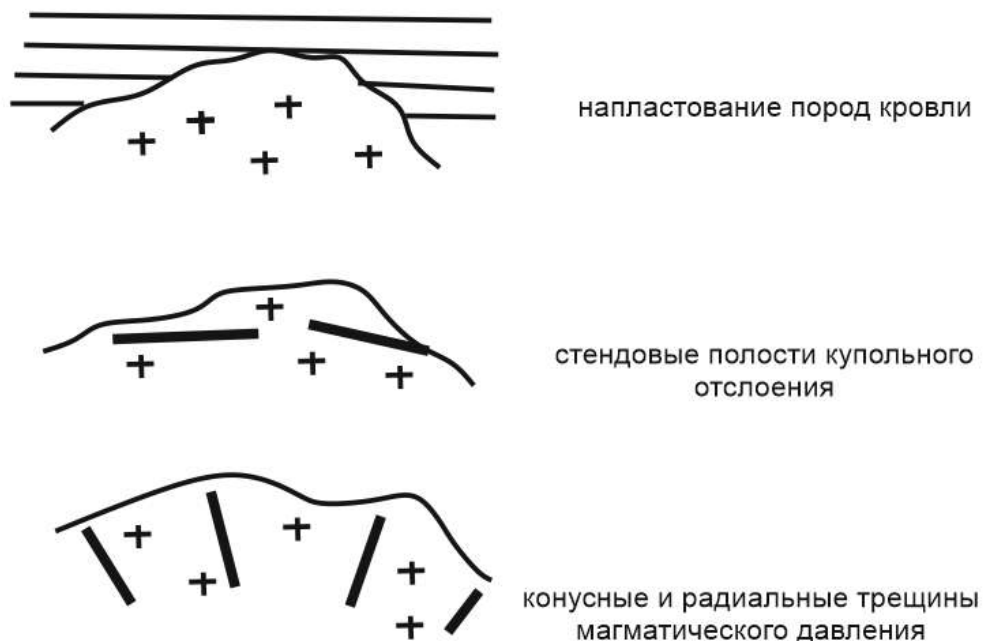


Рис. 13.3. Структурные элементы локализации грейзенов

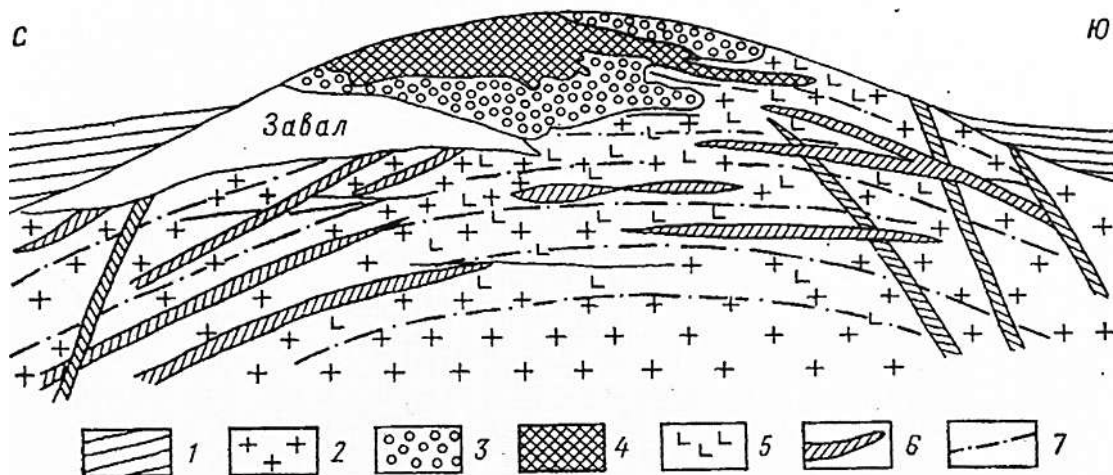


Рис. 13.4. Спокойнинское вольфрамовое месторождение в Забайкалье (по М.А. Осипову). Рудовмещающая трещинная структура. 1- метаморфические сланцы, 2-граниты, 3- существенно полевошпатовая зона пегматитового тела, 4-кварцевое ядро пегматитового тела, 5-полосчатые грейзены, 6-кварцевые жилы, 7-трещины отдельности

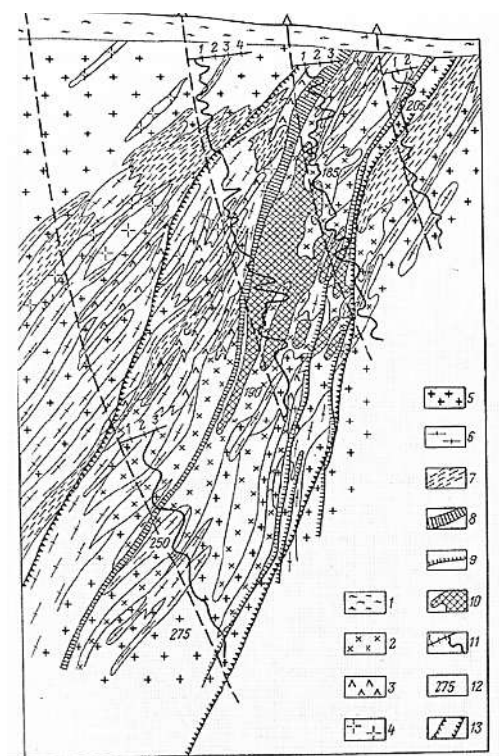


Рис. 13.5. Геологический разрез линейного альбититового месторождения урана на Украине (по Я. Белевцеву и Н. Гречишникову). Условные обозначения: 1 - осадочный чехол; 2 - альбититы; 3 - фениты. Граниты: 4 - крупнозернистые; 5 - мелкозернистые; 6 - мигматиты; 7 - гнейсы; 8 - главный разлом; 9 - второстепенные разломы; 10 - рудные тела; 11 - степень катаклаза в баллах; 12 - температура (град. С) по газово-жидким включениям; 13 - контуры зоны повышенной пористости и проницаемости

Лекция 14

Скарны

Скарны - метасоматические породы известково-силикатного состава, образовавшиеся в приконтактовой области интрузивов среди карбонатных и в меньшей степени среди силикатных пород.

В тех случаях, когда в них сосредотачивается ценное минеральное сырье, формируются скарновые месторождения полезных ископаемых. Круг полезных ископаемых исключительно широк и разнообразен. Практически все металлы за исключением Cr, Sb, Hg.

Скарновые месторождения называются также контактовыми, контактово-метаморфическими, контактово-метасоматическими, контактово-пневматолитовыми, пирометасоматическими.

Скарновые породы

Характерные особенности:

- отчетливо выраженный метасоматический характер минералонакопления (псевдоморфозы);
- неравномерное распределение минералов с образованием мономинеральных или биминеральных скопления (гранатовых, пироксен-гранатовых и др.);
- размер зерен варьирует от долей мм до 1-2 см (иногда отдельные зерна пироксенов достигают размеров 10 - 15 см);
- гранобластовые, порфиробластовые, пойкилобластовые, волокнистые, реликтовые структуры;
- массивные, пятнистые, полосчатые, друзовые текстуры.

Типоморфные минералы скарновых пород

Типоморфные минералы:

в известковых скарнах (замещение известняков – CaCO_3) гранат (ряд гроссуляра $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ - андрадит $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$); пироксен (ряд диопсид $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ - геденбергит $\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$); а также везувиан, волластонит, скаполит, амфиболы, эпидот;

в магнезиальных скарнах (замещение доломитов - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ диопсид $\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, форстерит $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$, шпинель MgAl_2O_4 , флогопит $\text{KMg}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})_2$, а также монтчеллит, ксантофиллит, гумит, серпентин, паргасит, людовигит;

в силикатных скарнах (замещение гранитоидов. порфиров, их туфов, трапшов, аркозовых песчаников, алевролитов) скаполит (ряд мариалит $\text{Na}_4\text{Cl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_8]_3$ - мейонит $\text{Ca}_4\text{Cl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_8]_3$).

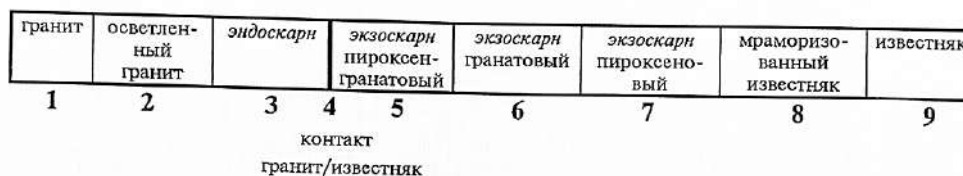


Рис. 14.1. Стандартная зональность скарнов

Вытеснение кальция магнием, а затем железом с образованием ряда:

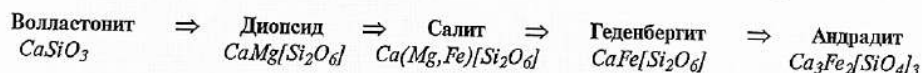


Рис. 14.2. Фациальная схема скарнообразующих минеральных ассоциаций

Гипотезы образования скарнов и скарновых месторождений

Инфильтрационно-диффузионная гипотеза (Д.Коржинский)

Идея биметасоматоза: по обе стороны разогретого контакта «силикатные - карбонатные породы» горячие водные растворы резко неравновесны, что приводит к выравниванию их состава с встречным диффузионным оттоком химических элементов из области их высокой концентрации в зону пониженной концентрации... разная степень подвижности химических элементов... изменение подвижности с изменением температуры ...образование зональности ...

Циркулирующие горячие растворы приносят химические соединения, выносимые как из глубинных магматических очагов, так и заимствованные из пород на путях движения этих растворов.

Гипотеза Коржинского объясняет закономерности сочетания порообразующих минералов скарнов (зональность), но оставляет в тени причины разнообразия многочисленных рудных минералов в скарнах. Кроме того, она не увязана с общепризнанной стадийностью скарнообразования; установлены стадии: 1) светлых известково-силикатных роговиков, 2) темных железистых скарнов, 3) водно- силикатных скарнов, 4) кварц-карбонатно-сульфидных минеральных ассоциаций.

Стадийная гипотеза (П. Пилипенко)

Главная масса вещества, необходимая для формирования скарнов и скарновых месторождений, привносится извне специфическими скарнообразующими растворами при энергичном участии минерализаторов внешнего происхождения. Состав привносимых веществ по мере снижения температуры процесса постепенно менялся, обуславливая зональное строение скарнов и все их минеральное разнообразие:

Весь процесс скарнообразования делится на шесть фаз (стадий) скарнообразующего метасоматоза:

- 1) привнос Si (кремниевый м.), диопсидовая порода (светлые роговики);
- 2) привнос Si, Al (алюмосипикатный м.), гранаты, пироксены (темные железистые скарны);
- 3) привнос Cl (галоидный м.), скаполит в скарнах;
- 4) привнос Fe (железный м.), магнетит, гематит, геденбергит и др... 1-4 - т.н. «сухие скарны» (минералы не содержат воды)
- 5) вода и углекислота (водный м.) - образование «водных» скарнов (роговые обманки, эпидот, а также шеелит и кальцит);
- 6) привнос воды, сероводорода и металлов (сульфидный м.) - формируются различные сульфиды и сульфосоли.

Подразделение скарновых месторождений

1. По положению относительно контакта изверженных пород:
 - эноскарновые
 - экзоскарновые
2. По стадиям образования:
 - собственно скарновые (с сопутствующим оруденением)
 - более поздние, наложенные (с отстающим оруденением)
3. По формациям магматических пород:
 - плагиограниты и плагиосиениты (кислые и щелочные производные базальтовой магмы)
 - гранодиориты (умеренно кислые производные гранитной магмы)
 - малые интрузии гранитоидного состава
 - траппы
4. По составу замещаемых пород:
 - известковые (замещение известняков CaCO_3)
 - магнезиальные (замещение доломитов $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)
 - силикатные (замещение гранитоидов, порфиоров, их туфов, траппов, аркозовых песчаников, алевролитов и др. пород)
5. По составу полезных ископаемых (примеры месторождений):
 - Fe-месторождения (г. Магнитная, Урал, Россия)

- Fe-Co-месторождения (Дашкесан, Кавказ, Азербайджан)
- Cu-месторождения (Турьинские рудники, Урал, Россия)
- Pt-месторождения (Бушвелд, ЮАР)
- W-месторождения (Чарух Дайрон, Средняя Азия)
- Mo-месторождения (Тырныауз, Кавказ, Россия)
- Pb-Zn-месторождения (Тетюхе, Приморье, Россия)
- Au-месторождения (Минас-Жераис, Бразилия)
- Sn-месторождения (Питкьяранта, Карелия, Россия)
- Be-месторождения (Айрон Маунтин, США)
- Nb-месторождения (Кайзерштупе, Германия)
- REE-месторождения (Айдахо, США)
- U, Th-месторождения (Мэри Кэтлин, Австралия)
- В-месторождения (Дальнегорское, Приморье, Россия)
- флогопита месторождения (Алдан, Россия)
- хризотил-асбеста месторождения (Аризона, США)
- графита месторождения (Блэк-Дональд, Канада)

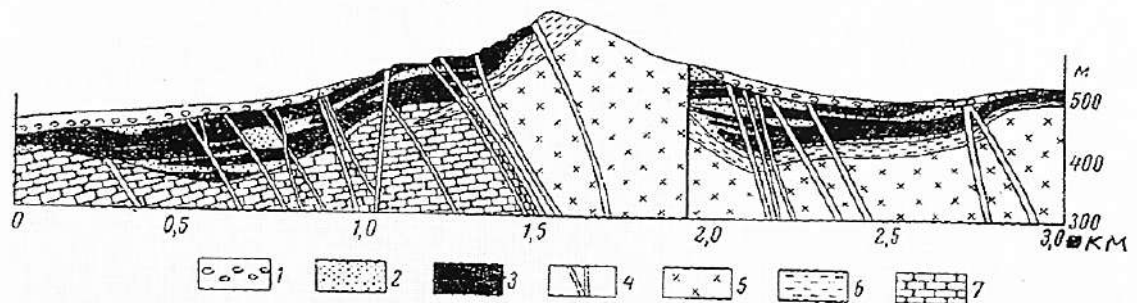


Рис. 14.3. Пластообразная залежь рудоносных скарнов. Горы Магнитной (по А.Н. Заварицкому). 1 — делювий с рудными валунами; 2 — скарны; 3 — рудные участки скарна; 4 — жилы диоритов и порфиров; 5 — порфириты; 6 — контактово — метаморфизованные туфы; 7 — известняки.

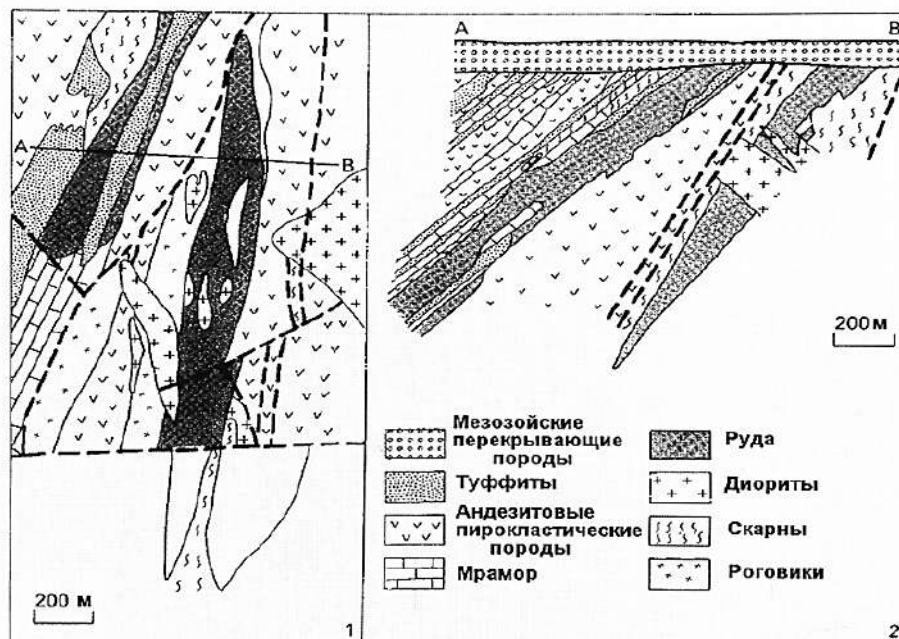


Рис. 14.4. Сарбайское скарновое месторождение железа (Казахстан) 1 - план горизонта 80; 2 – разрез (по Соколову и Григорьеву, 1977)

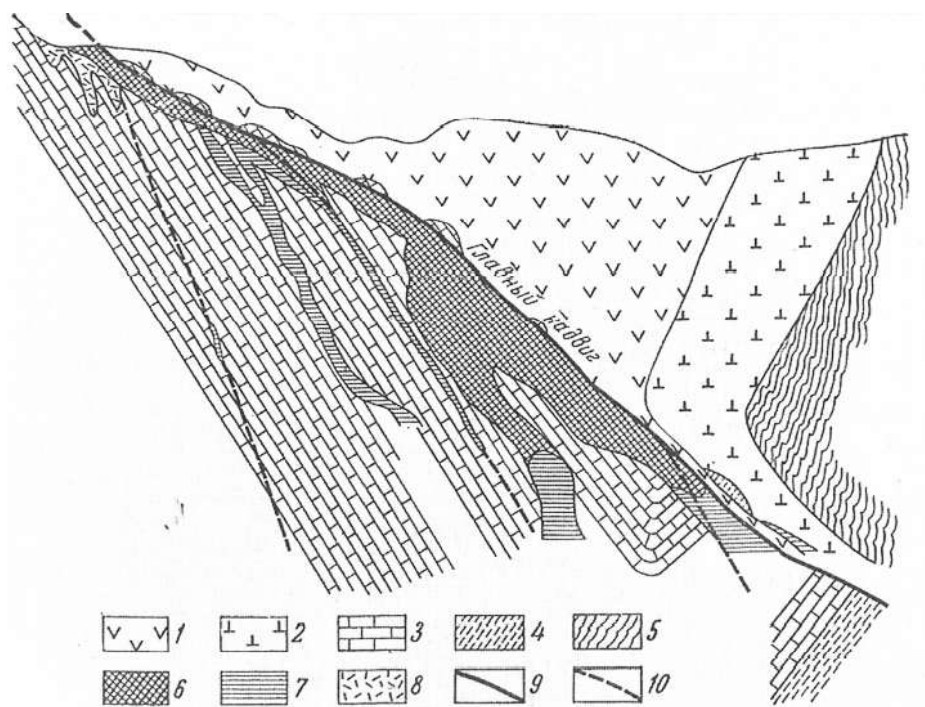


Рис. 14.5. Схематический поперечный разрез свинцово-цинкового скарнового месторождения Верхнее (по И.Томсону и Н.Мозговой). 1 — кварцевые порфиры; 2 — андезиты; 3 — известняки; 4 — сланцы и песчаники; 5 — кремнистые сланцы; 6 — скарны; 7 — проекции скарнов; 8 — окисленная цинковая руда; 9 — разлом; 10 — предполагаемые разломы

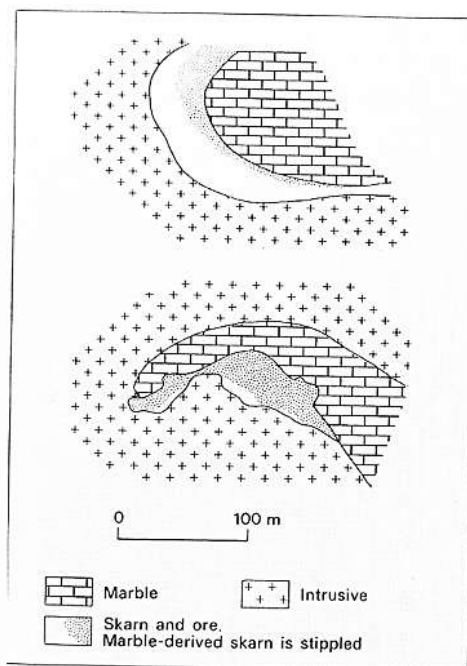


Рис. 14.6. Скарновое Fe-Мо-Си месторождение Меме, Гаити. Вверху - геологический план горизонта 1500 футов, внизу - разрез «восток - запад» (по Кеслеру, 1068)

Обращает внимание положение скарна и руды в разрезе ниже мрамора. Скарнообразование - по контакту меловых известняков с кварцевыми монцонитами. В эндоскарне — диопсид $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$.

Рудная минерализация: гематит, магнетит, пирит, молибденит, халькопирит, борнит, халькозин, дигенит

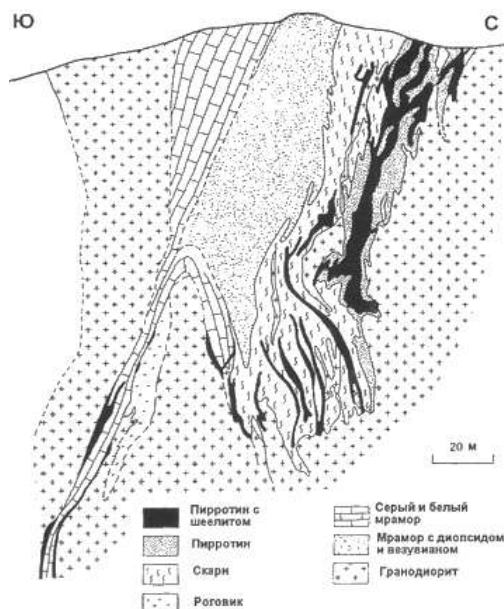


Рис. 14.7. Вольфрамовое месторождение Салаи, Франция

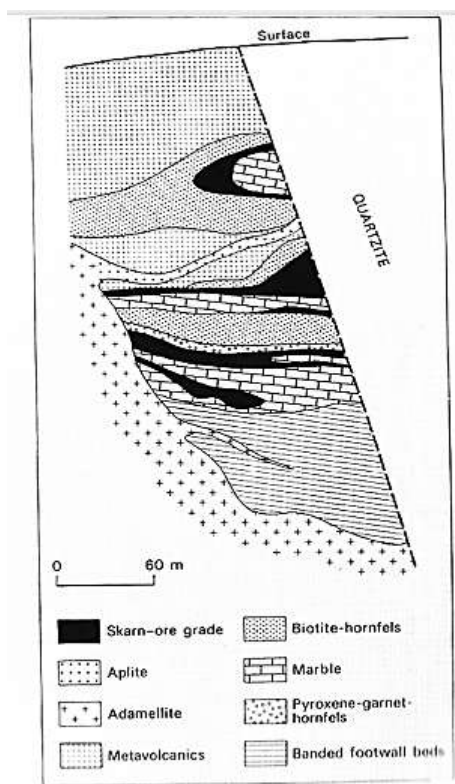


Рис. 14.8. Вертикальный разрез скарнового месторождения вольфрама Болд Хэд, Тасмания

Шеелитоносные андрадитовые скарны образовались при селективном замещении пластов известняков в контакте с гранодиоритами и адамеллитами раннекаменноугольного возраста. Стратиформные рудные тела имеют мощность 5-40 м.

Лекция 15

Гидротермальные месторождения

Месторождения этой группы образуются циркулирующими под поверхностью Земли горячими минерализованными газовой-жидкими растворами; при этом скопления минеральных масс образуются либо их отложением в пустотах горных пород (тела выполнения), либо замещением благоприятных горных пород (тела замещения).

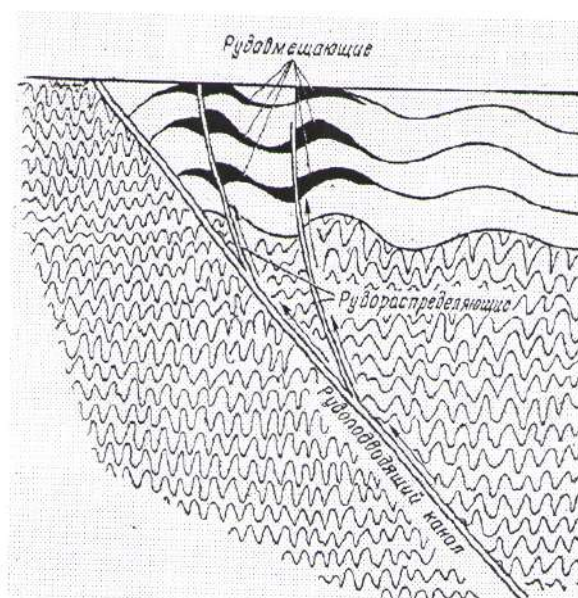


Рис. 15.1. Геологические структуры для гидротермальных месторождений

Рудоподводящие определяют пути движения гидротермальных растворов

Рудораспределяющие каналы, по которым эти растворы отводятся от магистральных путей.

Рудовмещающие определяют локализацию рудных тел, их форму, размеры, внутреннее строение.

Специфические особенности гидротермальных залежей

- размещаются среди гидротермально-измененных пород;
- окаймляющая ореолами рассеяния металлов, затухающими к периферии;
- содержит жидкие и газовой-жидкие включения в минералах руд, которые гомогенизируют при температурах, соответствующих температурам минералообразования.

Признаки связи гидротермальных месторождений с массивами изверженных пород:

- одновременность образования изверженных пород и г/т месторождений;
- приуроченность к одним и тем же геологическим структурам;
- одинаковые фациально-глубинные условия образования;
- одинаковая степень метаморфизма;
- геохимическое родство;
- зональность размещения месторождений по отношению к массивам изверженных пород.

Выделяют генетическую, парагенетическую и случайную связи.

Источники воды в гидротермальных системах (природа воды выявляется по изотопии кислорода и водорода):

- **магматической (ювенильной)**; кислые магмы содержат 2-10% воды, а содержание конституционной воды в граните – около 1%; если принять, что при кристаллизации в среднем освобождается около 7% воды, то это оставляет 0,2 куб. км от 1 куб. км породы;

- **метаморфический**; в свежем осадке содержится до 60% воды, в зоне диагенеза и катагенеза – 30-20%, в породах зеленосланцевой фации – 4%, амфиболитовой фации – 2-1%, гранулитовой фации метаморфизма – 0,5%;

- захороненные воды древних осадков;

- атмосферные (вадозные) воды глубокой циркуляции;

- морские и океанические воды, вовлеченные в гидротермальный процесс.

Источники минерального вещества образования месторождений:

- ювенильный (базальтоидный подкоровый): Fe, Mn, Ti, V, Cr, Ni, Cu, Pt,

- ассимиляционный (гранитоидный, коровый): Sn, W, Be, Li, Nb, Ta...

- фильтрационный (внемагматический – частичное заимствование Si, Ca, K, Cl, Fe, Mn...

Формы переноса минеральных соединений в гидротермальных системах:

- в истинных растворах (молекулярных, ионных);

- в коллоидных растворах;

- в комплексных растворах (ионно-молекулярные комплексы, состоящие из ядра-катиона и обрамляющих его отрицательно заряженных лиганд, представленных ионами/молекулами).

Перемещение вещества в гидротермальных системах:

- инфильтрация в движущемся растворе;
- диффузия в застойном растворе;

Отложение вещества из гидротермальных растворов:

- обменные реакции: а) между растворами и боковыми породами, б) при смешении растворов,
- коагуляция коллоидов,
- изменение температуры, давления, электрические поля и др.

Околорудный метасоматоз

Калиевый (K):

- калишпатизация (ort,mk) – KAlSi_3O_8 ;
- мусковитизация, серититизация (ms, ser) – $\text{KA}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$;
- каолинизация, аргиллизация (kaol, dk) – $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$.

Натриевый (Na):

- альбитизация (ab) – $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$;

Магниевый (Mg):

- доломитизация (dl) – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$;

Железо-магниевый (Fe-Mg):

- хлоритизация (chl) – $(\text{Al, Fe, Mg})_{4-6}(\text{Al, Fe, Si})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{O})_8$;

Кальциевый (Ca):

- пропилитизация (Ca, ab, chl) + ep – эпидот – $\text{Ca}_2(\text{Al, Fe})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$;
- листовенитизация (tlc, chl, ser, п.ш., карб. Mg, Fe) – tlc – $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$;

Прочие изменения:

- серпентинизация (sp) – $(\text{Mg, Fe})_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$;
- турмалинизация (tr) – $(\text{Ca, K, Na})(\text{Al, Fe, Mg})_3(\text{Al, Cr, Fe, V})(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{O, OH}, \text{F})$

Изменения пород различного состава

Кислые, средние и щелочные магматические породы & осадочные глинистые и песчанистые алюмосиликатные породы:

- микроклинизация,
- мусковитизация,
- серицитизация,
- хлоритизация,
- окварцевание,
- каолинизация

Основные и ультраосновные породы:

- пропилитизация,
- лиственитизация,
- оталькование

Молодые (кайнозойские) эффузивные породы различного состава:

- пропилитизация,
- цеолитизация – $\text{KNaAl}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{24} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (клиноптилолит)
- алунитизация – $(\text{K}, \text{Na})\text{Al}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$ (алунит).

Сводный ряд зонального распределения элементов в первичных ореолах рассеяния металлов гидротермальных месторождений (по Баранову, Григорьяну, Овчинникову)

Сверху вниз: (Ba-Sb)-Hg-As-Ag-Pb-Zn-Au-Cu-Bi-W-Mo-U-Sn-Co-Ni-Be.

Вмещающие породы гидротермальных месторождений вокруг рудных тел обычно содержат повышенное количество рудообразующих металлов. Площади с такими повышенными содержаниями металлов, окаймляющих рудные тела, называются **ореолами рассеивания**. Они бывают **первичными** (образуются при формировании месторождений) и **вторичными** (образуются при химическом разрушении верхней части рудных тел и разнос рудного вещества).

Вертикальная зональность ореолов (металлы подрудные, сорудные, надрудные) в полном виде не проявляется.

Режим серы и кислорода

Для образования гидротермальных руд особое значение имеют химическая активность серы и кислорода. Комбинация в соотношениях химических активностей серы и кислорода в гидротермальных растворах приводят к тому, что трудно растворимые соединения одних металлов выпадают в осадок, а легко растворимые других металлов сохраняются в растворе и не входят в естественные минеральные парагенетические ассоциации гидротермальных руд.

Пример 1. В условиях высокой активности S_2 - медь и цинк выпадают из гидротермального раствора в виде малорастворимых сульфидов (халькопирит – $CuFeS_2$ и сфалерит – ZnS), создавая месторождения этих металлов. Когда такой режим нарушается (с окислением сульфид-ионов S_2 до сульфат-ионов SO_4^{2-}) возникают легко растворимые сульфаты меди и цинка, не выпадающие из раствора и не создающие месторождений этих металлов.

Пример 2. Железо и олово, способные в природных условиях давать как сернистые, так и кислородные соединения, в случае низкой активности кислорода, но высокой активности серы, выпадают из гидротермального раствора в виде малорастворимых сульфидов (пирит, пирротин) и сульфостанната (станнин), а в условиях высокой активности кислорода – в форме оксидов (магнетит, гематит, касситерит). При этом, в зависимости от степени окисленности (сернистости) растворов в одних случаях будет выпадать магнетит, а в других – гематит, в одних – пирит, в других – пирротин (диаграммы «активность-активность», «Fe-S-O: состав-парагенезис»).

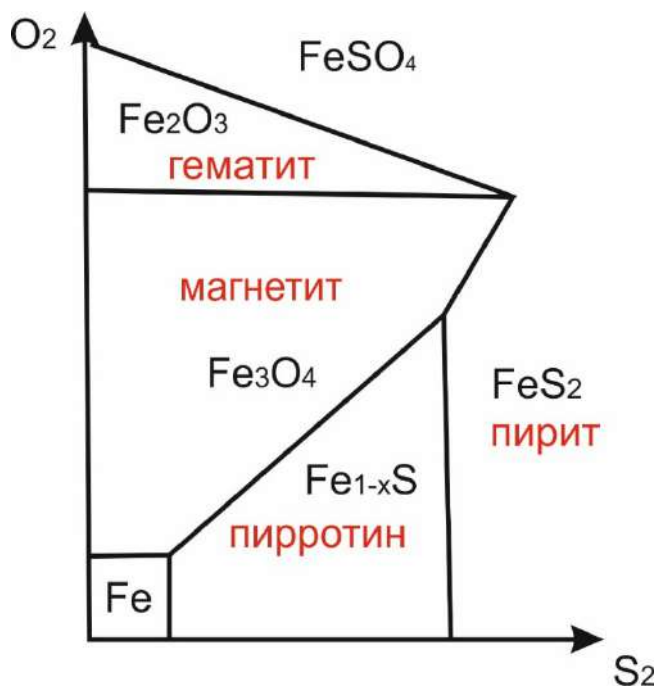


Рис. 15.2. Диаграмма O_2 - S_2 и поля устойчивости минералов железа

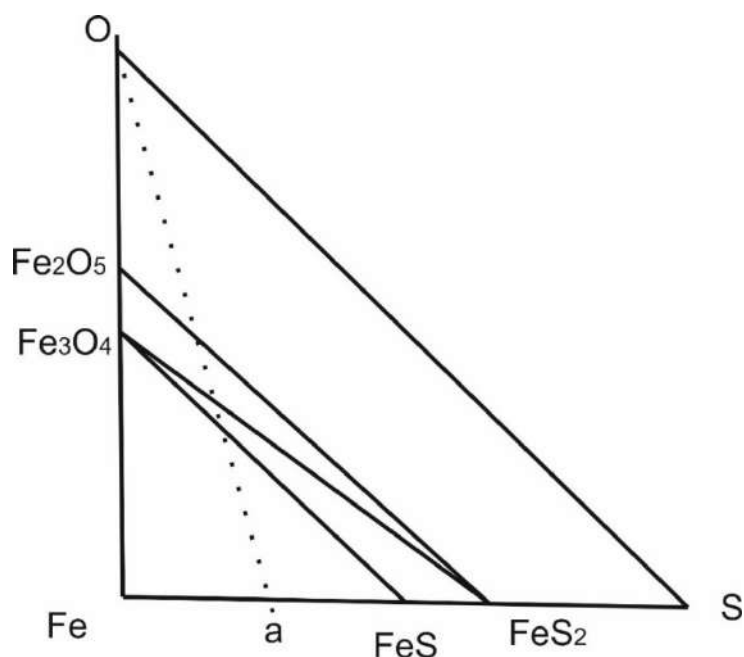


Рис. 15.3. Диаграмма «состав-парагенезис» в системе Fe-S-O

Классификация гидротермальных месторождений (по В. Линдгрёну, 1933)

Месторождения:

- 1) гипотермальные
- 2) мезотермальные
- 3) эпитермальные
- 4) телетермальные

Глубины формирования, м:

1. 3000-15000
2. 1200-4500
3. Близ поверхности – до 150
4. Близ поверхности

Температуры формирования, град. С:

- 1) 300-600
- 2) 200-300
- 3) 50-200
- 4) 100

Руды металлов:

- 1) Au, Sn, Mo, W, Cu, Pb, Zn, As
- 2) Au, Ag, C, As, Pb, Zn, Co, W, Mo, U

- 3) Pb, Zn, Au, Ag, Hg, Sb, Cu, Se, Bi, U
- 4) Pb, Zn, Cd, Ge

Классификация гидротермальных месторождений по В.И. Смирнову, 1989

Группа гидротермальных месторождений (в составе магматогенной/эндогенной серии) подразделяется на три класса: плутогенный, вулканогенный и амагматогенный.

Плутогенный класс гидротермальных месторождений подразделяется на три паракгенезиса; кварцевый, сульфидный и карбонатный, подразделяемых в свою очередь на 15, 20 и 4 рудных формации соответственно.

Вулканогенный и амагматогенный классы подразделяются соответственно на 11 и 4 рудные формации.

Класс плутогенных месторождений

Кварцевый парагенезис, формации:

1. Q-Au
2. Q-арсенопирит-Au (Кочкарь)
3. Q-пирит-Au
4. Q-турмалин-Au (Ключевское)
5. Q-касситеритовая
6. Q-молибденитовая (Сорское)
7. Q-халькопиритовая (Коунрад)
8. Q-энаргитовая (Бьютт)
9. Q-шеелитовая (Бурановское)
10. Q-шеелит-Au
11. Q-висмутиновая
12. Q-уранинитовая
13. Q-гематитовая (Шваривальа)
14. Q-баритовая
15. Горного хрусталя

Сульфидный парагенезис, формации:

1. галенит-сфалерит-халькопиритовая (Садон)
2. галенит-сфалерит-пирит-баритовая (Салаир)
3. сульфидно-настурановая
4. «пятиэлементная» (Co, Ni, Bi, Ag, Au)
5. арсенидов и сульфоарсенидов Co, Ni, Bi, Ag (Бу Азер)
6. арсенопиритовая (Запокровское)
7. касситерит-галенит-сфалеритовая (Хачеранга)
8. касситерит-хлорит-пирротиновая (Омсукчан)
9. Au-антимонитовая
10. ферберит-антимонитовая

Карбонатный парагенезис, формации:

1. сидеритовая (Бакал)
2. родокрозитовая (Бьютт)
3. магнезитовая (Сатка)
4. кальцит-тремолит-тальковая

Прочие парагенезисы, формации:

1. баритовая и виверитовая (Грузия)
2. фенакит-флюоритовая (Сибирь)
3. апатитовая (Касерис, Испания)
4. графитовая (Шри-Ланка)
5. хризотил-асбестовая

Класс вулканогенных месторождений

Формации:

1. полиметаллическая Au-Ag
2. Au-Ag с теллуридами и селенидами
3. касситерит-вольфрамит-висмутин-аргентитовая (Потоси, Бразилия)
4. халькопирит-энаргит-

халькозиновая (Брален, Чили) 5. флюорит-берtrandитовая (Томас, США) 6. молибденит-флюорит-настурановая 7. киноварная (Вышково) 8. самородной Cu (оз. Верхнее, США) 9. алунитовая (Заглик) 10. исландского шпата (Тунгуска) 11. самородной S, сульфидов Au и Si в отложениях фумарол и сольфатар

**Класс амагматогенных (телетермальных, стратиформных)
месторождений**

Формации:

1. борнит-халькопиритовая (Удокан) 2. галенит-сфалеритовая в карбонатных породах (Каратау) 3. антимонитовая и киноварная (Хайдаракан) 4. флюоритовая (Такоб)

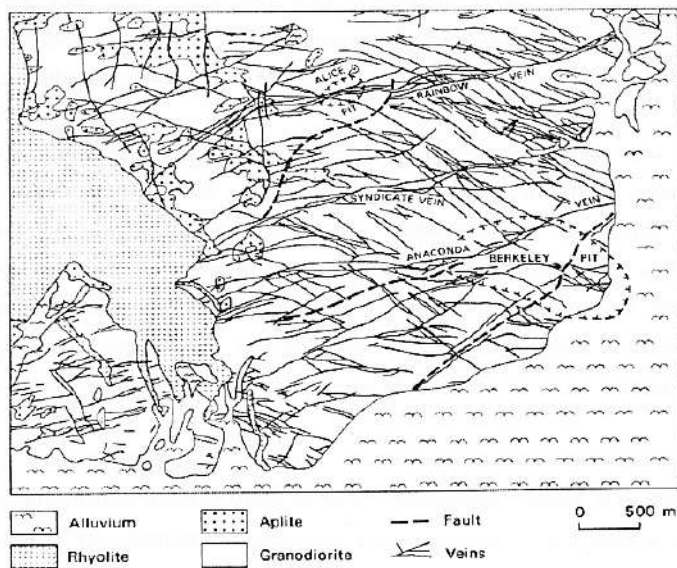


Рис. 15.4. Месторождение Бьютт, Монтана (Cu, Zn, Mn, Pb, Ag, Au, Bi, Cd, Se, Te). Геологический план поверхности с системами рудных жил (по Мейреу и др., 1968)

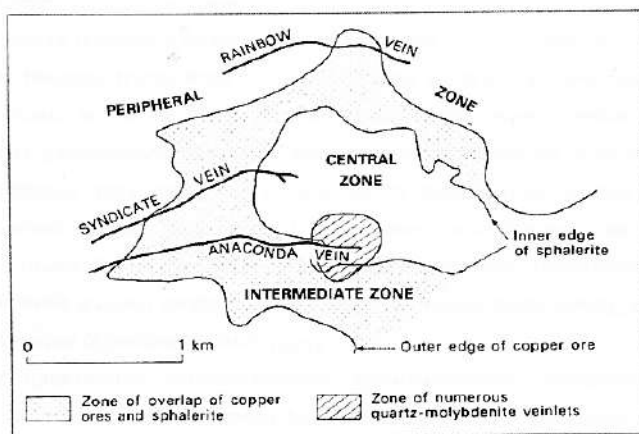


Рис. 15.5. Месторождение Бьютт, Монтана. Зональное строение на горизонте 1800 фт (549, 44 м) (по Мейреу и др., 1968)

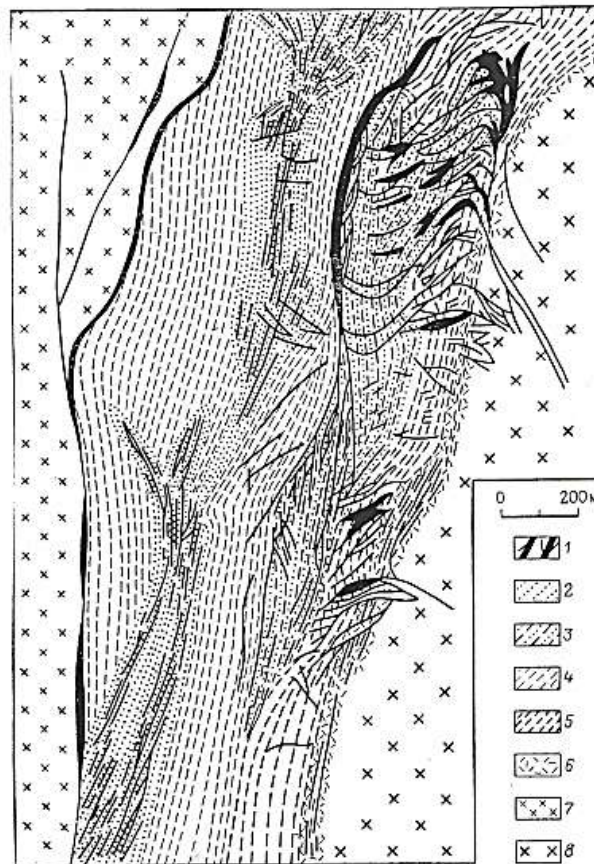


Рис. 15.6. Схема геологического строения медно-порфирового месторождения Чукикамата, Чили (по В. Лопецу и В.Перри). 1 - рудные жилы и прожилки (штокверковая зона); 2 - 6 - измененные палеогеновые монзонитовые порфиры: 2 - окварцованные, 3 - серицитизированные и слабоокварцованные, 4 - интенсивно серицитизированные, 5 - альбитизированные и серицитизированные, 6 - хлоритизированные и альбитизированные; 7- палеогеновые гранодиориты (Форчуна), 8- юрские гранодиориты (Елена)

Неогеновый вулканический некк (шток Сальвадора, сужающийся с глубиной), в ядре палеозойской антиклинали рассечен многочисленными жилами мощностью около 0,6 м. Околорудное окварцевание, турмалинизация, серицитизация, рассеянные сульфиды. Руда: касситерит, висмутин, пирротин, арсенопирит, станнин, сфалерит, халькопирит и др.

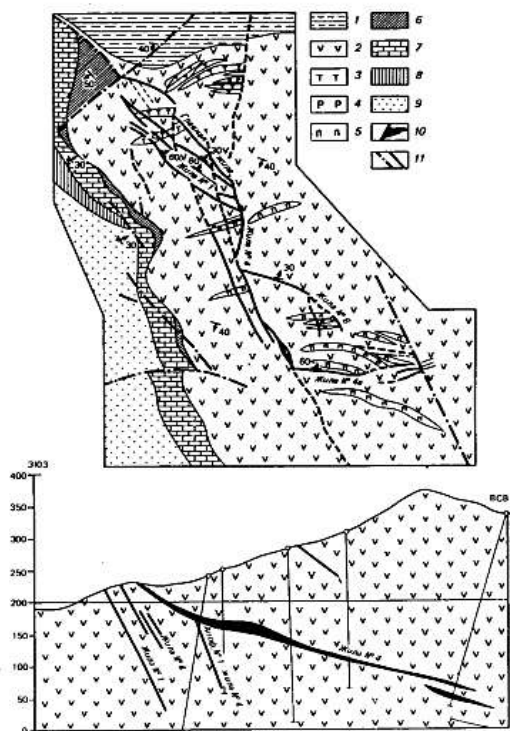


Рис. 15.7. Структурно-литологическая схема Чордского баритового рудного поля по (В.В. Надирадзе) и схематизированный геологический разрез в центральной части (по материалам геологов Чордской ГРП). Условные обозначения: 1 - песчаники, глинистые сланцы, верхний лейас; 2-5 - вулканогенная свита, байос; 6 - глины, глинистые песчаники, келловей-оксфорд; 7 - рифогенные известняки, оксфорд; 8 - известковистые песчаники, глины, известняки, киммеридж; 9 - песчаники, чокрак; 10 - баритовые жилы; 11 - тектонические нарушения

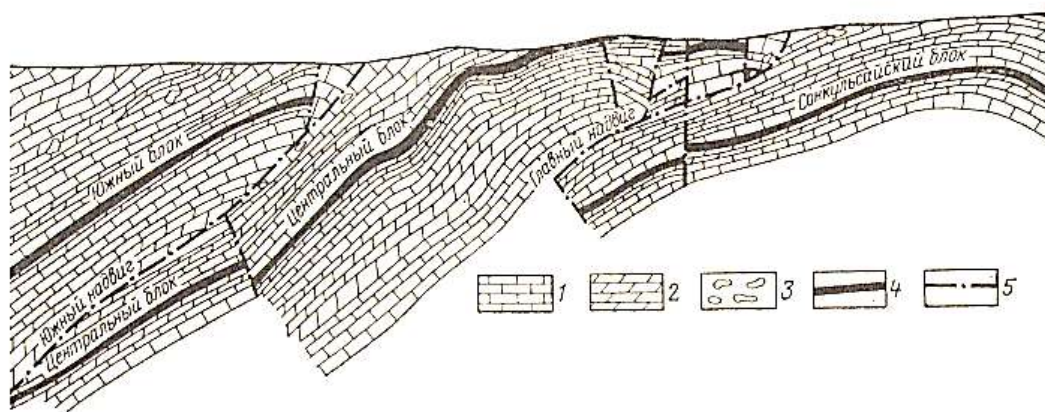


Рис. 15.8. Схематический разрез стратиформного Миргалимсайского свинцово-цинкового месторождения в Каратау, Казахстан (по В.И. Смирнову, 1989). 1 – известняки; 2 - доломиты; 3 - брекчированные известняки; 4 – рудные тела; 5 – тектонические послерудные нарушения

Стратифицированные и стратиформные месторождения (термины)

Strata-bound – стратифицированные месторождения полезных ископаемых, приуроченные к одной стратиграфической единице. Термин может относиться как к стратиформным ориентированным рудным телам, заключенным в одной стратиграфической единице.

Stratiform – стратиформный. Расслоенные залежи полезных ископаемых как осадочного, так и магматического происхождения.

Лекция 16

Колчеданные месторождения

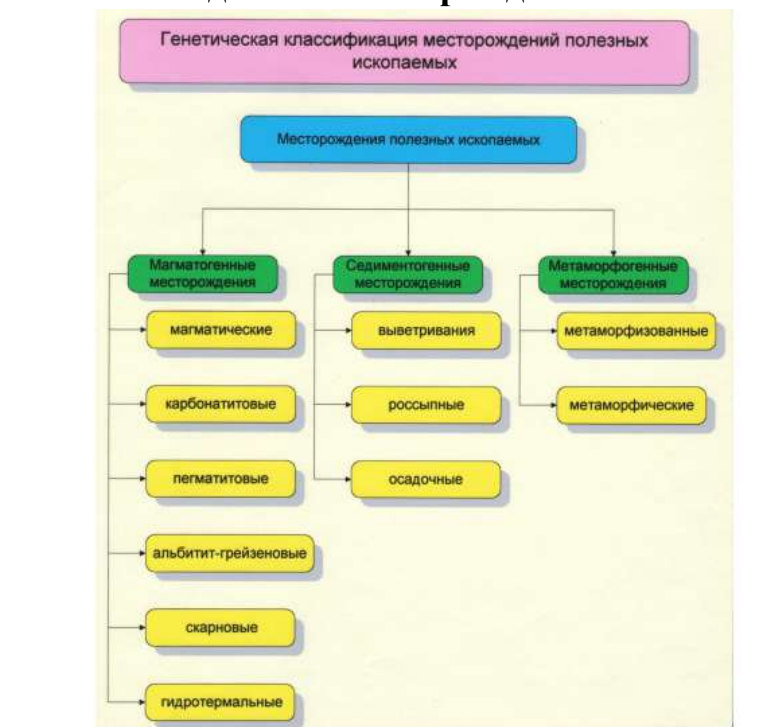


Рис. 16.1. Генетическая классификация месторождений полезных ископаемых

В приведенной выше схеме генетической классификации месторождений полезных ископаемых отсутствует выделяемая В.И.Смирновым группа колчеданных месторождений (в составе магматогенной серии); многими исследователями эти месторождения рассматриваются в составе гидротермальной группы.

Поскольку колчеданные месторождения по своей природе являются **эндогенно (источник вещества) – экзогенными (отложение основной массы вещества)**, они в настоящем курсе рассматриваются как пограничная (переходная) группа между магматогенной и седиментогенной сериями.

При рассмотрении колчеданных месторождений в отечественной и зарубежной литературе нередко используются термины **«стратифицированные» и «стратиформные» месторождения:**

strata-bound –стратифицированные месторождения полезных ископаемых, приуроченные к одной стратиграфической единице. Термин может относиться как к стратиформным (stratiform) месторождениям, так и к незакономерно ориентированным рудным телам, заключенным в одной стратиграфической единице.

stratiform - стратиформный. Расслоенные залежи полезных ископаемых как осадочного, так и магматического происхождения.

Колчедан – общее собирательное название сернистых соединений, бисульфидов, реже моносulfидов и иногда сульфосолей металлов – Fe, Cu, As, Ni, Co, Sn. Термин К. является составной частью уст. син. ряда сульфидов, напр. медный К.- халькопириту и т.п. Геологический словарь. (М., 1978)

Представлены залежами сульфидных (с господствующими сульфидами железа) руд:

- 1) в вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщах (формациях),
- 2) в терригенных и терригенно-карбонатных толщах (формациях).

Первые связаны с субмаринными дифференцированными формациями базальтоидного ряда ранних стадий рифтогенеза и островодужных обстановок, вторые – с углеродистыми карбонатотерригенными флишоидными толщами (иногда с редуцированными базальтовыми или риолит-базальтовыми комплексами) в рифтогенных прогибах пассивных континентальных окраин и окраинных морей.

С базальтовыми формациями офиолитовой ассоциации связаны серно/медноколчеданные месторождения кипрского типа, а также медноколчеданные типа бесси. В дифференцированных натриевых формациях с преобладанием основных вулканитов локализованы медноколчеданные и медно-цинковые месторождения уральского типа. С контрастно дифференцированными калий-натриевыми и калиевыми базальтриолитовыми формациями (преобладают кислые вулканиты) связаны колчеданно-полиметаллические месторождения типа куроко.

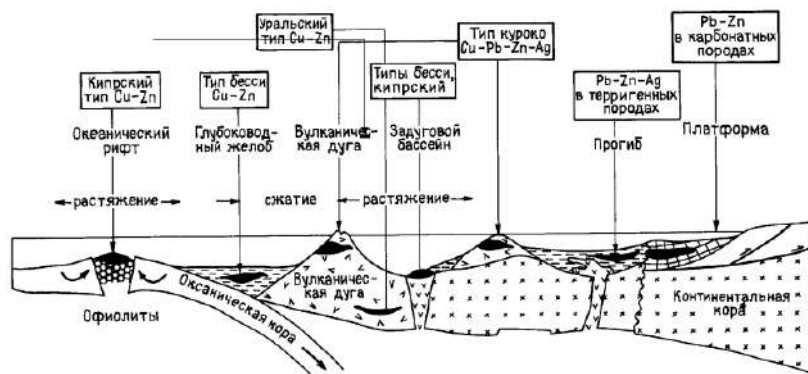


Рис. 16.2. Геотектонические обстановки колчеданного рудообразования

В рудных телах различают согласную с вмещающими породами пластообразную часть массивных руд и систему секущих прожилкововкрапленных руд, развитых со стороны лежачего бока и сопровождающихся ореолом кварц-серицит-хлоритовых гидротермально-измененных пород; в слоистых пирокластических и терригенных толщах висячего бока нередко наблюдаются горизонты обломочных руд.

В минеральном составе руд преобладают пирит, пирротин, иногда марказит, с примесью халькопирита, борнита, сфалерита, галенита, блеклых руд (теннантит-тетраэдрит). Нерудные минералы развиты слабо и обычно представлены кварцем, серицитом, хлоритом, карбонатами, гипсом и др.

Главные компоненты руд: Cu, Zn, Pb, попутные - Au, Ag, иногда барит. Схема строения колчеданного месторождения представлена на рис. 16.3.

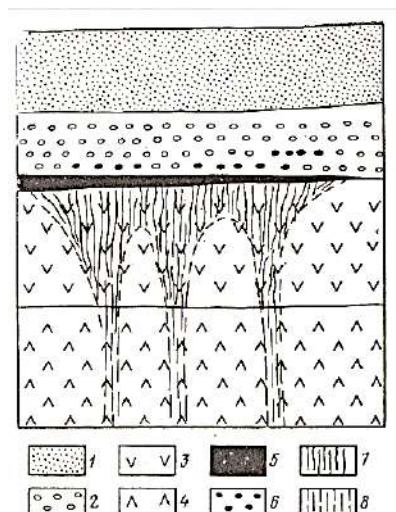


Рис. 16.3. Общая схема строения колчеданного месторождения (по В.И.Смирнову, 1989) Туфы и конгломераты: 1 – кислого состава, 2 – среднего и основного состава. Эффузивы: 3 – кислого состава, 4 – среднего и основного состава. 5 – массивная колчеданная руда. 6 – горизонты рудокластов. 7 – прожилково-вкрапленная руда среди гидротермально измененных пород. 8 – зоны смятия и дробления

Таблица 16.1. Типоморфные ассоциации редких минералов для главных типов вулканогенных колчеданных месторождений

	Кипрский и бесси типы	Уральский тип	Куроко тип
Не- или слабо метаморфизованные месторождения	Сульфиды и сульфоарсениды Co и Ni	Теллуриды	Сульфосоли Ag , Pb , Cu , Bi ; сульфиды Ag и Cu
Интенсивно метаморфизованные месторождения	As-блеклые руды	Сульфиды Co и Ni	Теллуриды, сульфотеллуриды; арсениды, сульфоарсениды; Sb -сульфосоли
	Докембрийские месторождения: сульфиды Cu и Ag ; Sb -сульфосоли; силикаты Ва ; алюмошпинели Zn и Fe ; оксиды V и U ; фосфаты Ca и REE		

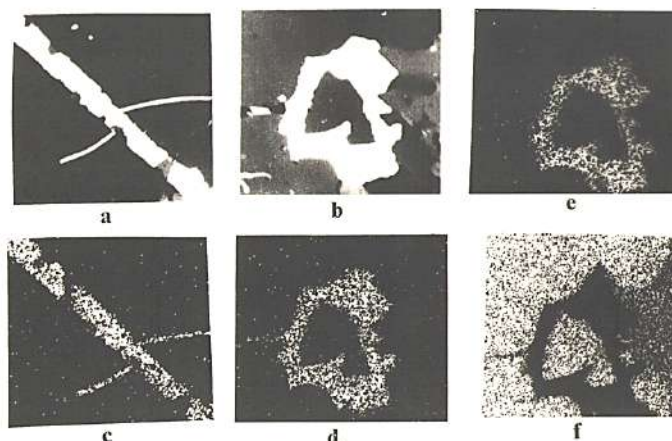


Рис. 16.4. Самородное золото в рудах Риддер-Сокольного месторождения, Рудный Алтай. Изображения в обратно-рассеянных электронах (a, b): самородное золото (белое), халькопирит (серое), пирит (черное); изображения в рентгеновских лучах: AuMa(c,d), AgLa(e), SKa(f). X 600. Состав самородного золота (мас.%): Au - 72,82; Ag - 26,31; $\Sigma = 99,51$.

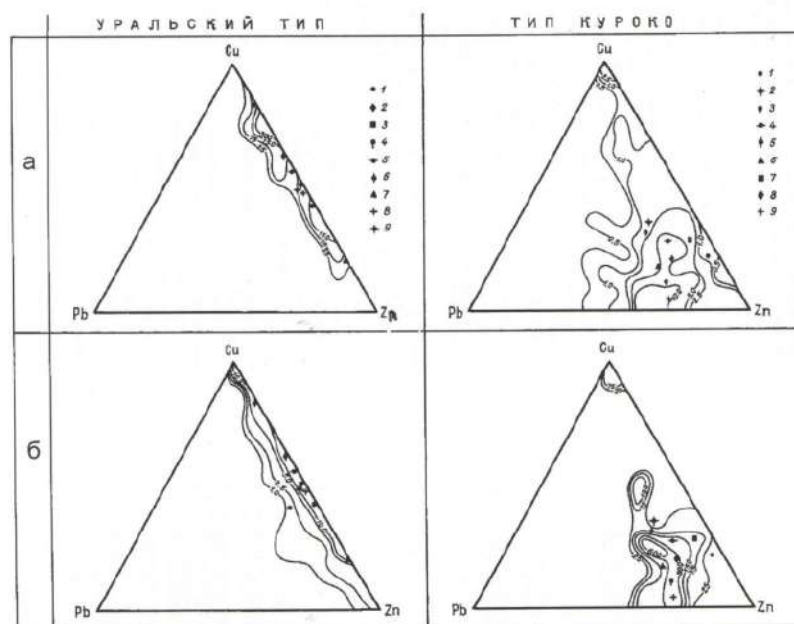


Рис. 16.5. Соотношение Cu, Pb, Zn в рудах фанерозойских колчеданных месторождений вулканической ассоциации уральского и куроко типов. а – распределение месторождений (изолинии в % от общего числа месторождений на 1% площади диаграммы) б – распределение запасов руды (изолинии в млн т руды на 1% площади диаграммы) Рудные провинции уральского типа (1-9): Аппалачи, Филиппины, Салаир, Зап. Шаста, Сев. Кавказ, Брит. Колумбия, Ньюфаундленд, Урал, каледониды Норвегии. Рудные провинции куроко типа (1-9): каледониды Швеции, Вост. Шаста, Фут-Хилл (Калифорния). Пояс Зеленых туфов (Япония), Иберийский колчеданный пояс, Австралия, Брит. Колумбия, Рудный Алтай, Батерст-Ньюкасл (Нью-Брансуик, Канада)

Таблица 16.2. Средние содержания металлов (% , г/т) и средние запасы руд (млн. т) колчеданных месторождений важнейших районов/провинций мира

Рудные районы и провинции	Кол-во месторождений*	Средн. содержания металлов (% , г/т) и запасы руды (млн. т)					
		Cu, %	Zn, %	Pb, %	Ag, g/t	Au, g/t	Руда, Mt
Пояс Абитибби (Канада)	52(47)	1,47	3,43	0,07	31,9	0,80	9,2
Салаир (Россия)	6(5)	1,18	2,30	0,20	17,0	0,70	7,0
Каледониды Норвегии	38	1,41	1,53	0,06			3,5
Ньюфаундленд (Канада)	18(5)	1,10	13,09	0,38	22,5	0,61	2,5
	7(4)	1,49	9,11	4,28	82,1	0,98	4,6
Маунт-Виндзор (Австралия)	6(6)	2,35	6,67	2,18	55,9	1,27	2,7
Голбурн-Кума (Австралия)	2(2)	1,43	9,36	14,25	55,4	0,50	7,3
Бенамбра (Австралия)	2(2)	2,05	4,88	0,72	33,6	1,06	6,7
Зап. Тасмания (Австралия)	19(19)	1,12	3,41	1,39	37,0	0,42	10,1
Урал (Россия)	47(28)	1,67	1,60	0,03	14,5	0,46	20,0
Сев. Кавказ (Россия)	6(4)	1,87	1,26	0,02	12,5	0,29	9,0
Вест-Шаста (США)	10(10)	4,47	3,38		43,7	0,90	1,4
Батерст (Канада)	29(28)	0,56	5,43	2,17	62,0	0,50	8,7
Брит. Колумбия (Канада)	33(24)	1,71	1,18	0,18	50,2	0,98	5,8
Рудный Алтай (Россия, Казахстан)	34(22)	1,32	4,20	1,14	41,9	0,45	14,8
Пиритовый пояс (Испания, Португалия)	11(10)	1,26	3,31	1,08	57,4	0,12	49,8
Район Зеленых туфов (Япония)	25(7)	1,63	3,86	0,92	95,1	0,90	5,8

Таблица 16.3. Крупные и особо крупные колчеданные месторождения вулканической ассоциации

Название	Крупные запасы ¹				Номер на карте
	Cu	Pb	Zn	руда	
Алжустрел	+	+	+	+	1
Невиш-Корву	++	++	+	+	2
Рио-Тинто	++	++	++	+	3
Лос-Фраилес	+	+	+	+	4
Азналкольяр		+	+	+	6
Сотиль		+	+	+	7
Тарсис		+		+	8
Гайское	++		+	+	9
Узельгинское	+		+	+	14
Учалинское			+	+	15
Риддер-Сокольное		+	+	+	16
Чекмарь		+		+	17
Тишинское			+	+	18
Зыряновское		+		+	19
Малеевское	+		+	+	20
Корбалихинское			+		23

Название	Крупные запасы ¹				Номер на карте
	Cu	Pb	Zn	руда	
Кидд-Крик	+		+	+	25
Маттагами			+		26
Крандон			+	+	27
Геко	+		+	+	28
Флин-Флон	+		+	+	29
Брансуик №12		++	++	+	30
Баканс		+	+		32
Зинкгруван		+	+	+	37
Гарпенберг		+		+	38
Озерное		+	+	+	40
Хельер		+	+		42
Розбери		+	+		43

Примечание: ¹ двойным крестиком обозначены особо крупные месторождения

Ниже представлены примеры колчеданных месторождений.

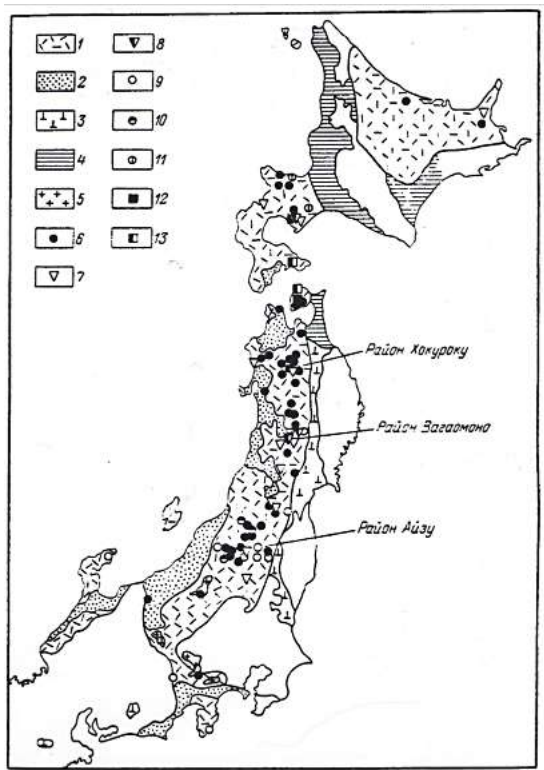


Рис. 16.6. Месторождения куроко в «Районе зеленых туфов», Япония (по Т. Сато, 1974)
Миоценовые отложения: 1 – субмаринные вулканогенные образования; 2 – осадочные образования; 3 – продукты наземного вулканизма; 4 – молассоиды; 5 – интрузии гранитоидов.
Месторождения: 6 – типичные Куроко; 7 – иттокверковые тела Куроко; 8 – иттокверковые с пластовыми сульфидными составляющими; 9 – гипсовые; 10 – гипсовые со значительными объемами сульфидов; 11 – баритовые; 12 – золото-пиритовые; 13 – пиритовые

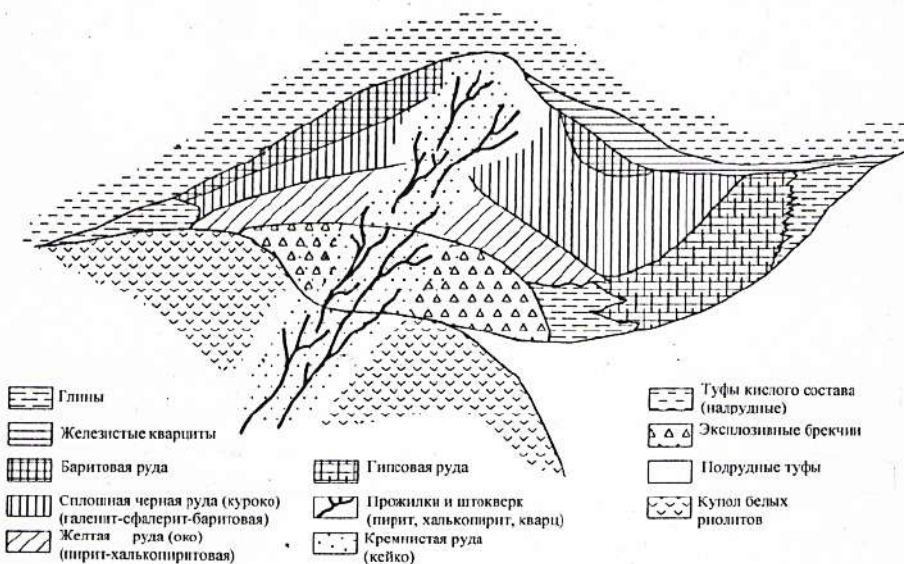


Рис. 16.7. Идеализированный геологический разрез месторождений куроко (по Т. Сато, 1974; Франклин и др., 1981)

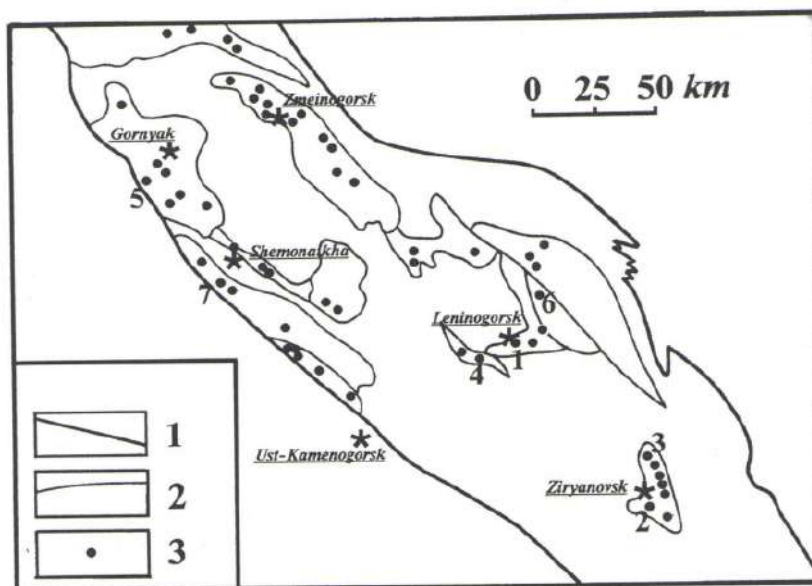


Рис. 16.8. Главнейшие рудные районы и колчеданные месторождения Рудного Алтая: 1- границы Рудноалтайской провинции; 2- границы рудных районов; 3- колчеданные месторождения (крупнейшие пронумерованы: 1-Ридер-Сокольное, 2- Зырянское, 3- Малеевское, 4- Тишинское, 5- Орловское, 6- Чекмарь, 7- Николаевское)

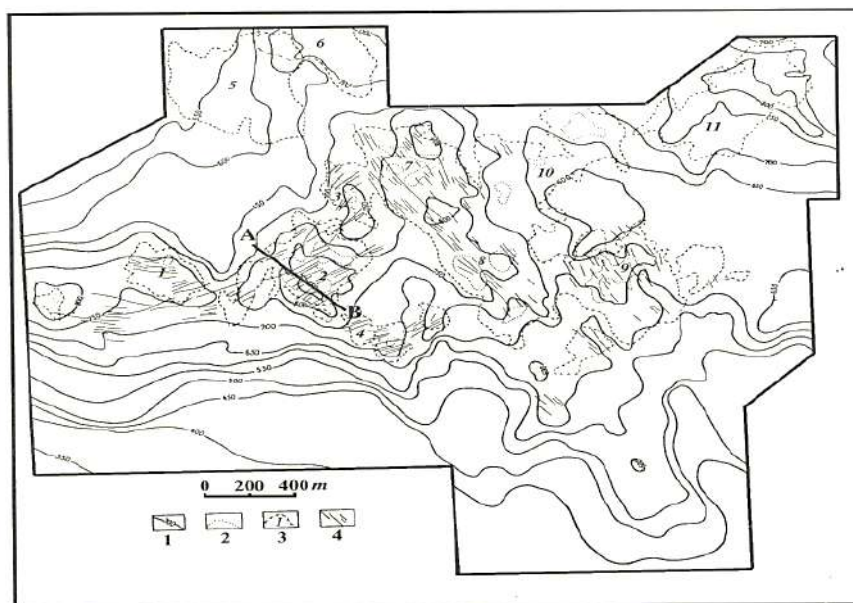


Рис. 16.9. Структурная схема Риддер-Сокольного месторождения. 1 - изолинии подошвы горизонта известковистых алевролитов, перекрывающих рудные тела (м), 2 - изопакиты 50 м стратиформных рудных тел, 3 - проекции рудных тел на горизонтальную плоскость (номера рудных тел: 1-Быструшинское, 2- 2 Юго-Западное, 3- 1 Юго-Западное, 4- 3 Юго-Западное, 5- 2 Риддерское, 6- Риддерское, 7- Центральное, 8- Победа, 9-Перспективное, 10- Белкина, 11- Крюковское). 4 – оси штокверковых зон лежащего бока

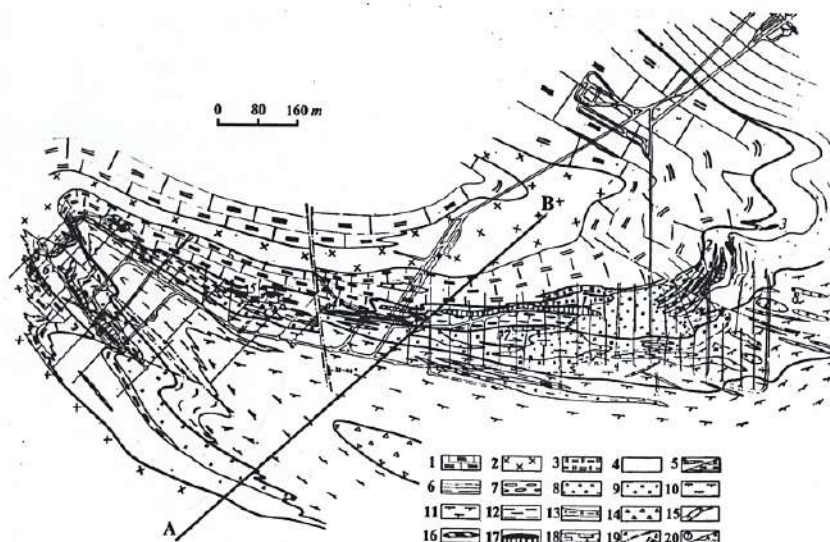


Рис. 16.10. Геологический план 14-горизонта Зырянского месторождения, Рудный Алтай (по В.Н.Гаврильцу). 1- известковистые алевролиты, 2 – риолиты, 3 – кремнистые породы, 4 – серицит-кварцевые отложения, 5 – хлоритовые породы (а) и алевролиты (в), 6 – хлорит-серицитовые ритмиты, 7 – кремнистые туффиты, 8 – кремнистые туффиты, 9 – туфогенные силициты, 10 – риолитовые туфы и туффиты, 11 – смешанные туфы, 12 – пропилитизированные алевролиты, 13 – риолитовые лавы, 14 – грубозернистые риолитовые туфы, порфириновые диабазы. Руды: 16 – барит-полиметаллические, 17 – пирит-полиметаллические (массивные и вкрапленные), 18 – регенерированные вкрапленные. 19 – разломы (а) и кливаж (в), 20а – рудные залежи (Центральная и др.), 20в – горные выработки и скв.

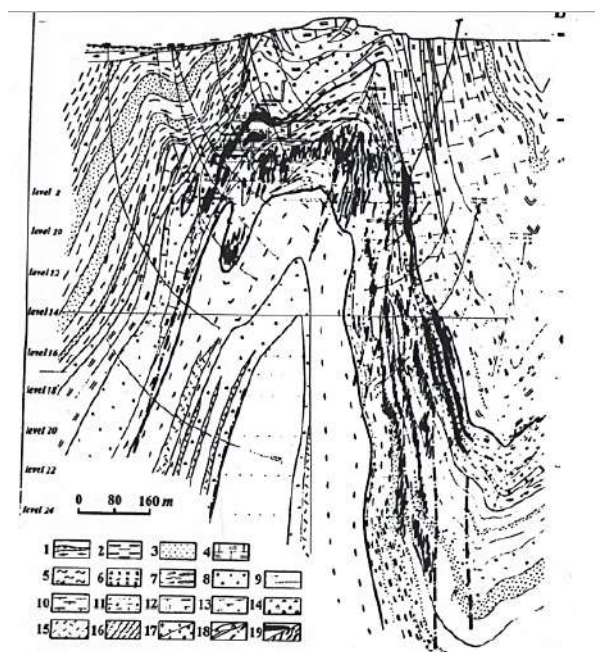


Рис. 16.11. Вертикальный разрез по линии 8 центральной части Зырянского месторожд. (по В.Н.Гаврильцу) 1- четвертичные отложения. Хамирская свита: 2 –

известковые алевролиты, 3 – песчаники. Маслянская свита: 4 – известковистые алевролиты, 5 – серицитовые породы, 6 – силицилиты, 7 – Линзы силицилитов,. Ревнюшинская свита: 8 – туфогенные силицилиты, 9 – кремнистые алевролиты, 10 – риолитовые туфы, 11 – риолитовые лавы, 12 – туффиты, 13 - смешанные туфы, 14 – риолитовые литоидные туфы, 15 – песчаные туфы, 16 – метаморфические породы фундамента, 17 – риолиты фельзитовые (а), риолиты кварц-полевошпатовые, 18 – дайки (а) и разломы (д). 19 – руды: массивные слоистые (а), вкрапленные и прожилковые (б)

Таблица 16.4. Запасы и средние содержания металлов некоторых цинково-свинцово-медных колчеданных месторождений

Месторождение (локализация)	Возраст	Литературный источник	Запасы руды, млн т	Cu, %	Zn, %	Pb, %	Ag, г/т	Au, г/т
Баченс (Ньюфаундленд)	S	[18]	>14	1,36	14,88	7,70	107	1,3
Асналькольяр (Иберийский пиритовый пояс)	C ₁	[18]	>45	0,44	3,33	1,77	67	1,0
Эррингтон и Вермиллон (Онтарио)	Pt	[18]	16	1,13	4,00	0,84	47,7	5,2
Розбери (Тасмания)	Э	[2, 18]	>>16,5	0,56	18,2	5,6	187	3,8
Учинотай ("Район зеленых туфов", Япония)	N	[24]	9,2	2,5	4,2	1,3	160	0,8
Артемьевское (Рудный Алтай)	D ₂		15,5	2,12	8,17	2,29	150	1,6

Ценными компонентами руд этих месторождений обычно являются медь, цинк и свинец (главные), а также золото и серебро (попутные); нередко в них также присутствуют барит и другие промышленные минералы.

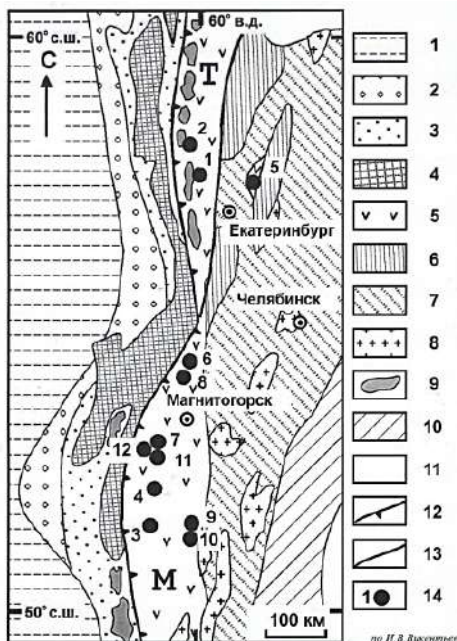


Рис. 16.12. Схема геологического строения Среднего и Южного Урала и положение некоторых колчеданных месторождений (по И.В. Викентьеву) 1 – Восточно-Европейская платформа, 2 – Предуральский прогиб, 3 – Западно-Уральская зона, 4 – Центрально-Уральское поднятие, 5 – Тагильская (Т) и Магнитогорская (М) зоны, 6 – тектонические фрагменты континентальной коры, 7 – Восточно-Уральская зона, 8 – гранитные массивы, 9 – ультраосновные массивы, 10 – Зауральская зона, 11 – Западно-Сибирская платформа, 12 – Главный Уральский разлом, 13 – Серовско-Маукская зона разломов. 14 – колчеданные месторождения (1-12): Сан-Дonato (1), Кабан (2), Гайское (3), Октябрьское (4), Сафьяновское (5), Учалинское (6), Сибайское (7), Им. 19 Партсъезда (8), Джусинское (9), Барсучий Лог (10), Бакр-Тау (11), Уваряж (12)

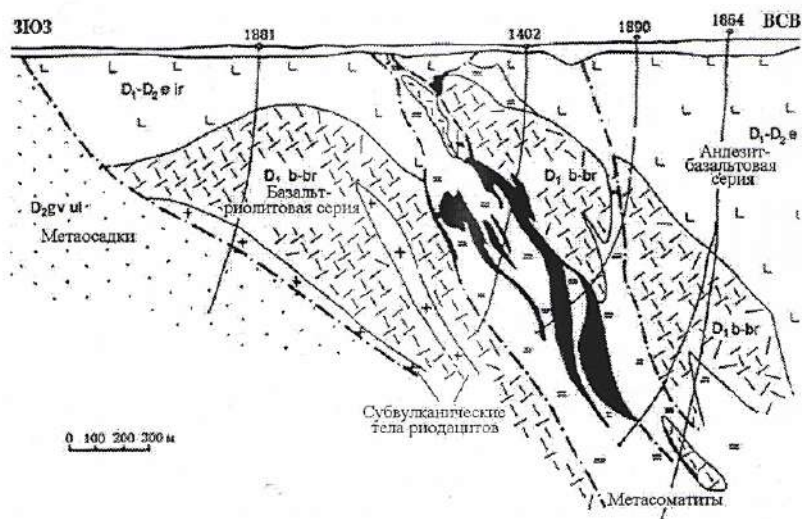


Рис. 16.13. Геологический разрез Гайского медноколчеданного месторождения на Южном Урале по профилю 107

Совокупность сближенных линзовидных крутопадающих рудных тел размерами по падению от 40 до 100-200 м при мощности в десятки м (в раздувах до 150 м) образует субмеридиональную рудную зону мощностью около 300 м (до 600-800 м) протяженностью 3,7 км по простиранию и свыше 1,7 км по падению (ниже не оконтурена). Руды медно-, серно- и медно-цинково-колчеданные: Cu, Zn, S, Au, Ag и др. компоненты.

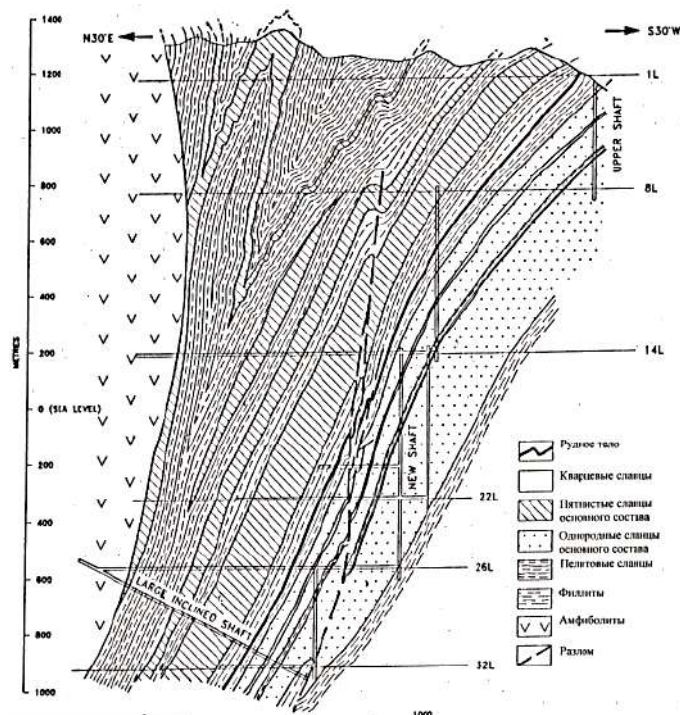


Рис.. 16.14. Геологический разрез месторождения Бесси, Япония (по Франклину и др., 1981)

Медноколчеданное месторождение Бесси (наряду с подобным месторождением Ханава и множеством рудопроявлений) находится в составе палеозойского метаморфического (глаукофановый метаморфизм) пояса Самбагава (о-в Сикоку, Япония).

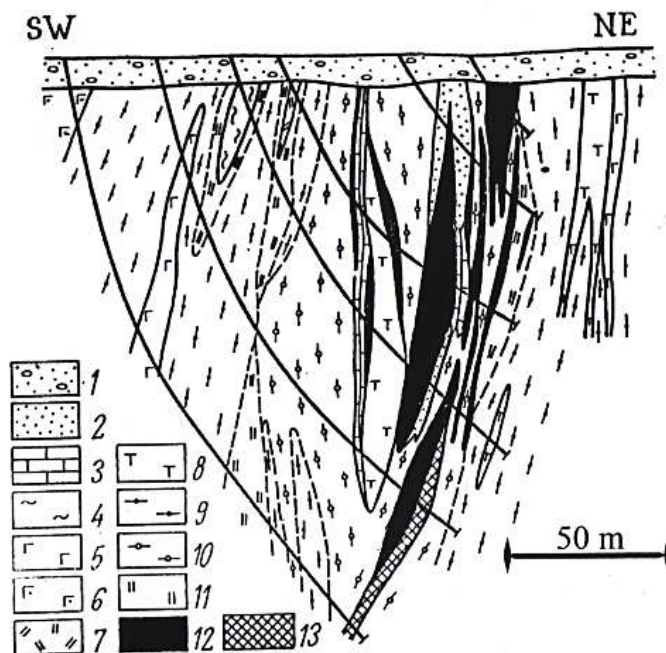


Рис. 16.15. Вертикальный поперечный разрез месторождения Парандово (Карелия) 1 – четвертичные отложения, 2 – кварциты, 3 – известняки, 4 – графитовые сланцы, 5 – амфиболизированные диабазы, 6 – амфиболизированные габбродиабазы, 7 – туфы дацитовых порфиритов, 8 – хлорит-тальковые сланцы, 9 – порфиробластические породы с кварц-плагиоклазовым хлоритовым матриксом, 10 – порфиробластические породы с кварц-плагиоклазовым матриксом, 11 – порфиробластические породы с биотитизированным матриксом, 12 – пиритовые руды, 13 – пирротиновые руды.

Современное колчеданное рудообразование

- Установленные в последней четверти минувшего XX столетия т.н. «черные и белые курильщики» представляют собой проявления современного субмаринного вулканизма близ поверхности морского дна обычно в составе срединно-океанических хребтов (СОХ) Мирового океана.
- С ними связаны образующиеся скопления сульфидов (марказита, пирита, халькопирита и др) и других минералов, рассматриваемые как современные аналоги колчеданных руд ископаемых месторождений.
- Активные морские исследования этих образований продолжаются с использованием глубоководных спускаемых аппаратов и отбором проб.
- Ниже приводятся отдельные результаты исследований геохимических процессов в гидротермальной системе срединноокеанического хребта (СОХ), которые представил сотрудник Геологического факультета МГУ д.г.-м.н. Д.В Гричук. (2000 г.)

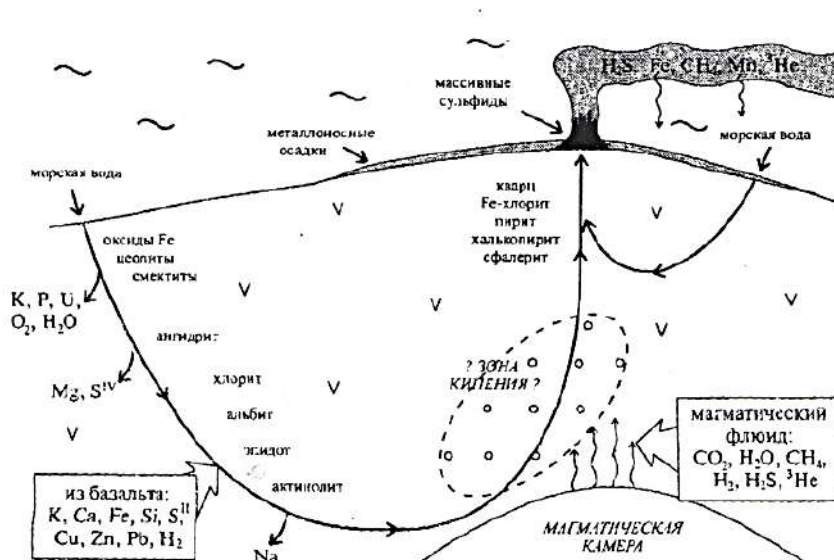


Рис. 16.16. Схема геохимических процессов в гидротермальной системе срединноокеанического хребта (СОХ) (по Д.В. Гричуку, 2000)

Гидротермальные системы СОХ представляют собой конвективные образования с эндогенным источником тепла – магматическим телом и резким преобладанием экзогенного компонента – морской воды в флюидной фазе. Эта вода просачивается по трещинам в толетитовых базальтах океанической коры, постепенно нагревается и реагирует с породами. Возможно также поступление в поток гидротермальных растворов магматического флюида, отделяющегося от кристаллизующего расплава. Возможно боковое поступление в восходящий канал холодной морской воды.

Схема геохимических процессов в гидротермальной системе срединно-океанического хребта (СОХ) (по Д.В. Гричуку, 2000)

- Гидротермальные системы СОХ представляют собой конвективные образования с эндогенным источником тепла – магматическим телом и резким преобладанием экзогенного компонента – морской воды в флюидной фазе. Эта вода просачивается по трещинам в толетитовых базальтах океанической коры, постепенно нагревается и реагирует с породами. При этом по базальтам развиваются по мере роста температуры вторичные минералы смектитовой, хлоритовой и пропилитовой фаций. Некоторые компоненты из морской воды связываются – Mg, SO₄, K, U, растворенный кислород. Одновременно вода извлекает из базальтов многие компоненты, включая рудные – Fe, S-2, Cu, Zn, Pb. Наибольшую интенсивность взаимодействия раствора с породой приобретает в самой горячей части («очаге») гидротермальной системы вблизи контакта с магматической камерой.

- Возможно также поступление в поток гидротермальных растворов магматического флюида, отделяющегося от кристаллизующего расплава. В области

очага и низов восходящей ветви может возникать область кипения и сепарации водной и паровой фаз.

- Восходящую ветвь системы гидротермальный раствор проходит быстро, тепло-массообмен со стенками трещинного канала здесь не столь существенен, и процесс близок к адиабатическому. Возможно боковое поступление в восходящий канал холодной морской воды, приводящее к подповерхностному смешению и некоторому охлаждению гидротермальных растворов. Излияние последних в водную толщу может происходить в форме локализованных струй («курильщиков») и/или рассеянной разгрузки, характерной для крупных рудных построек. За счет резкого падения температуры и изменения состава в ходе смешения с придонной водой из гидротермального раствора выпадают твердые фазы, в том числе – рудные минералы. Значительная часть рудного вещества при активной разгрузке теряется в водную толщу, образуя факелы разноса («плюмы»).

Лекция 17

Группа россыпных месторождений (россыпи)

Месторождения россыпей формируются вследствие концентрации ценных компонентов среди обломочных отложений, возникающих в процессе разрушения и переотложения вещества горных пород и коренных месторождений полезных ископаемых у поверхности Земли. Их образование связано с физическим и химическим выветриванием.

Классы в группе россыпных месторождений экзогенной (седиментогенной) серии полезных ископаемых

В группе россыпных месторождений экзогенной (седиментогенной) серии полезных ископаемых выделяются следующие классы:

1. Элювиальный (на месте разрушения коренных источников).
2. Делювиальный (смещенный по склону выветрелый и дезинтегрированный материал).
3. Проллювиальный (накопленный у подножья склонов материал).
4. Аллювиальный (речной), подразделяемый на подклассы (косовой, русловой, долинный, дельтовый, террасовый).
5. Литоральный (вынесенный в водоемы – озера, моря, океаны – материал, прибрежный материал).
6. Гляциальный (образованный в результате ледниковой деятельности материал).
7. Эоловый (результат деятельности ветра)

По времени образования россыпи подразделяются на юночетвертичные (современные) и древние (ископаемые), **по условиям залегания** – на открытые и погребенные (под толщей более молодых осадков, **по форме залежей** – на плащевые, пластовые, линзовидные, ленточные, шнурковые и гнездовые.

Россыпи

В россыпях могут накапливаться минералы, обладающие высокой плотностью (г/см^3), химической устойчивостью в зоне выветривания (окисления) и физической прочностью. Важнейшие из них следующие.

Самородное золото ($19\text{-}16 \text{ г/см}^3$) - Au

Киноварь (8 г/см^3) – HgS

Касситерит (7 г/см^3) – SnO₂

Монацит (5 г/см^3) – (Ce, La, Nd, Th)PO₄

Ильменит (5-4 г/см³) – FeTiO₃

Корунд (рубин, сапфир) (4 г/см³) – Al₂O₃

Гранат (6-3,5 г/см³) – A₃B₃(SiO₄), где A-Ca, Fe, Mg, Mn; B-Al, Cr, Fe⁺³

Топаз (6-3,5 г/см³) – ZrO₂

Самородная платина (19-14 г/см³) - Pt

Вольфрамит (7 г/см³) – (Mn, Fe)WO₄

Колумбит-танталит (8-5 г/см³) – (Mn, Fe)(Nb, Ta)₂O₆

Шеелит (6 г/см³) – CaWO₄

Магнетит (5 г/см³) – Fe₃O₄

Циркон (4,5 г/см³) – ZrSiO₄

Рутил (4 г/см³) – TiO₂

Алмаз (3,5 г/см³) - C

Коренные источники ценных минералов россыпей

1. Коренные месторождения полезных ископаемых, за счет разрушения которых возникают россыпи золота, платины, алмазов, касситерита, вольфрамита, колумбита, киновари, особенно характерные для делювиальных и аллювиальных россыпей.

2. Рассеянные, в том числе акцессорные минералы горных пород, при концентрации которых образуются главным образом россыпи монацита, ильменита, рутила, циркона, граната, магнетита, наиболее характерные для литоральных месторождений.

3. Древние россыпи.

Экономика

Из россыпей получают около половины мировой добычи алмазов, титана, вольфрама и олова; в прошлом извлекали существенное количество золота и платины, добыча которых из россыпей существенно снизилась. Кроме того, из россыпей добывали танталит, колумбит, пирохлор, монацит, магнетит, гранат, горный хрусталь, барит, корунд, киноварь, янтарь.

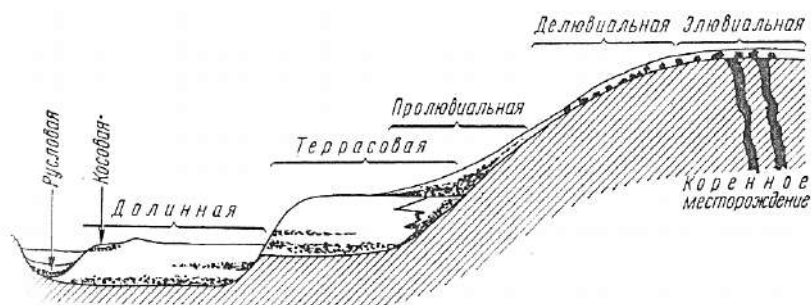


Рис. 17.1. Схема размещения аллювиальных россыпей различных подклассов в поперечном сечении речной долины (по В.И. Смирнову, 1989)

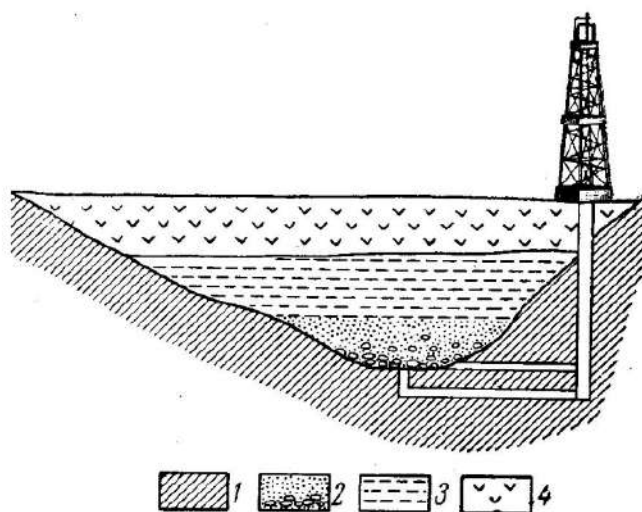


Рис. 17.2. Поперечный разрез аллювиальной россыпи, погребенной под покровом базальтов (Австралия) 1 – коренные породы; 2 – россыть; 3 – торфа; 4 – базальты

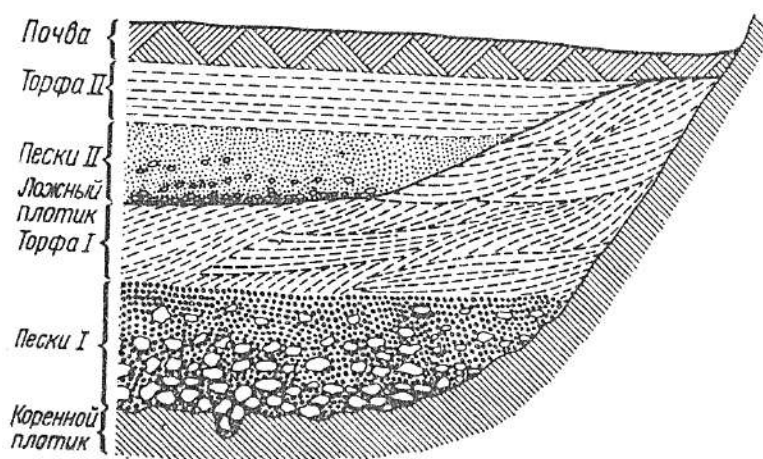


Рис. 17.3. Схема строения аллювиальной россыпи в поперечном разрезе (по В.И. Смирнову, 1989)

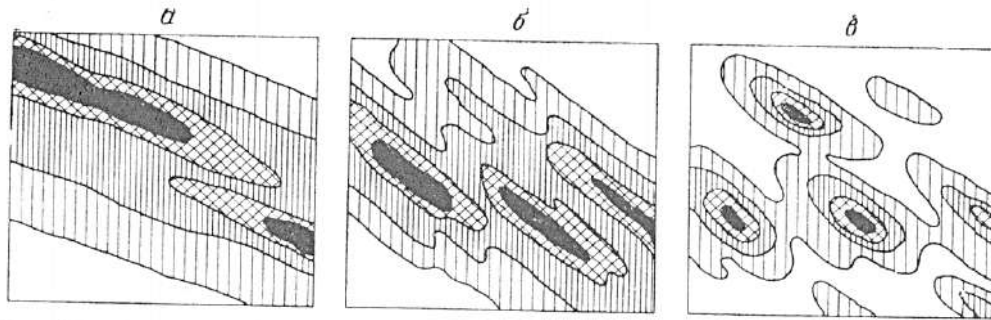


Рис. 17.4. Распределение ценных минералов в аллювиальной россыпи (по В.И. Смирнову, 1989)

а – хорошо выдержанная россыпь: равномерное распределение ценного минерала, относительно постоянная мощность пласта и сравнительно ровный плотик с незначительным уклоном; продуктивный горизонт (пески) по литологическому составу отчетливо ограничивается от вышележащих осадков (торфов)

б – выдержанная по ширине и длине россыпь: менее равномерная концентрация ценных минералов, неровный плотик с крутым уклоном; пласт оконтуривается по данным опробования шурфов и скважин.

в – невыдержанная россыпь: прерывистое, гнездовое распределение ценного минерала; плотик обычно неровный, с промоинами, крутой; пласт или отдельные гнезда ценных минералов намечаются только опробованием при разведке и окончательно оконтуриваются во время эксплуатации.

Условия образования аллювиальных россыпей

Перенос обломочного материала рекой начинается при достижении некоторой скорости течения воды. Максимальная скорость, при которой не происходит перемещения обломков по дну реки – «**непередвигающая скорость**». При ее превышении начинается вибрация обломков на дне реки и их отрыв от подстилающих осадков, что определяет «**критическую скорость отрыва**». При дальнейшем нарастании скорости потока возникает «**передвигающая скорость**», обуславливающая перемещение донных осадков вниз по течению и их сортировку.

Перенос обломков вниз по течению имеет скачкообразный характер, называемый **сальтацией**.

Передвигающая скорость в 1,35 – 1,5 раза выше критической скорости срыва. **Масса обломков, перемещаемых потоком, пропорциональна скорости течения в шестой степени (закон Эри), а их диаметр соответственно пропорционален квадрату скорости.**

Скорость течения меняется с изменением живого сечения потока и и уклона реки. Все это создает условия для дифференцированного переноса и осаждения обломков разного состава.

Истирание обломков приводит к отбору аллювиальных фракций не только по их размеру и плотности, но и по их механической прочности. Для каждого минерала существует наименьший критический размер частиц, по достижении которого их окатывание и износ практически прекращаются.



Рис. 17. 5. Черные пески пляжевая россыпь монацита на берегу Индийского океана. Индия, штат Керала (по Г.А.Пелымскому и др., 2012)

Основными источниками тория в настоящее время являются **монацитовые россыпи**. Крупнейшие прибрежно-морские россыпи имеются в Индии (Рис. 17.5) (ср.сод. монацита в песках 0,75%), Бразилии (2-5%), Австралии и Малайзии;

минералы: торианит ThO_2 (88%), бреггерит $(\text{U,Th})\text{O}_2$ (6-15), торит ThSiO_4 (81,4), ураноторит $(\text{Th,U})\text{SiO}_4$ (50-70), ферриторит $(\text{Th,Fe})\text{SiO}_4$ (45-65), торогуммит $(\text{Th,U})(\text{SiO}_4)(\text{OH})_4$ (45-65), эшинит $(\text{Ce,Th})(\text{Nb,Ti})_2\text{O}_6$ (до 20), приорит $(\text{Y,Th})(\text{Nb,Ti})_2\text{O}_6$ (до 8), торийсодержащий монацит $(\text{Ce,Th})(\text{P,Si})\text{O}_4$ (3,5-10 до 40).

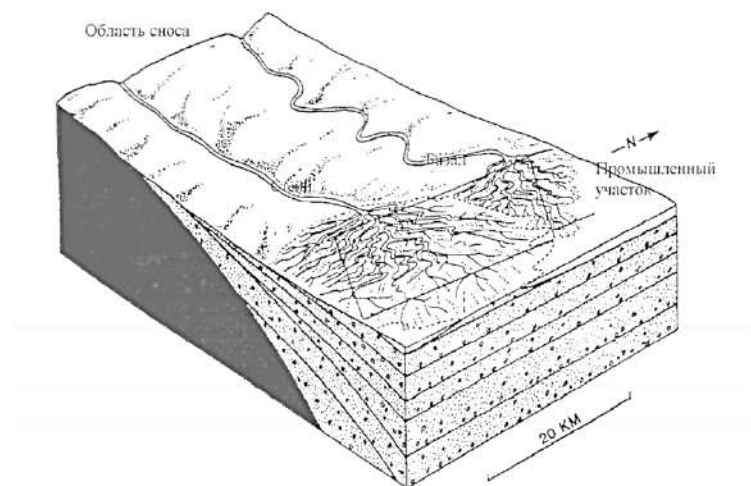


Рис. 17.6. Золоторудное поле Велком (бассейн Витватерсранд). Ветвящиеся дельты крупных рек, в которых образовались частично перекрывающиеся россыпи Базал и Стейн золоторудного поля Велком (бассейн Витватерсранд)

Группа осадочных месторождений

Осадочные месторождения возникают в процессе осадконакопления на дне водоемов. По месту образования они разделяются на **речные, болотные, озерные и морские**.

Тела полезных ископаемых залегают согласно с вмещающими их осадочными породами, занимая строго определенную стратиграфическую позицию; они имеют форму **пластов и плоских линз**, которые вследствие тектонических движений (динамометаморфизма) могут быть деформированы и приобрести более сложные очертания.

Среди них известны и современные, но наиболее распространены **древние** ископаемые образования.

Осадочные месторождения **стройматериалов, солей, фосфоритов, различных металлов, горючих ископаемых** имеют огромное промышленное значение.

Осадки - продукты, отложившиеся в результате физических, химических и биологических процессов, ещё не превращенные в горную породу и лежащие на поверхности в зоне современного осадконакопления.

(По Н.М.Страхову):

Диагенез - преобразование (перерождение) осадка в горную породу. На раннем этапе диагенеза вначале (в окислительных условиях) образуются аутигенные минералы - глауконит, фосфаты, цеолиты, опал и др.; на позднем этапе диагенеза (в восстановительных условиях) - аутигенные карбонаты, фосфаты, силикаты и сульфиды Fe, Pb, Zn, Cu и др. тяжелых металлов, карбонаты и фосфаты Mn. На позднем этапе

диагенеза аутигенные минералы перераспределяются, образуя сгущения, линзы конкреции и пр. (образование кальцитовых, доломитовых, сидеритовых, кремневых, пиритных и др. стяжений). В ходе диагенеза уменьшается количество иловой воды, осадок местами литифицируется, но сплошная литификация достигается на более поздней стадии - катагенезе. //частично литифицированный уплотненный осадок, участками переходящий в неметамо.рфизованную осадочную породу//

Катагенез - интенсивное уплотнение осадочной породы (частично литифицированного осадка) под влиянием возрастающего давления и частичное преобразование устойчивых, главным образом терригенных и частично аутигенных минералов. //неметамоρφизованная осадочная порода//

Метагенез - перекристаллизация аутигенных минералов и глинистого вещества, растворение и кристаллизация под давлением главных породообразующих минералов неметамоρφизованной осадочной породы. // метамоρφизованная осадочная порода: глинистые сланцы, кварцитопесчаники, кварциты, кристаллические известняки и доломиты и др.

Таблица 17.1. Стадийное развитие литогенеза (по Н.М. Страхову)

<p>1. Стадия седиментогенеза</p>	<p>Этап 1. Мобилизация веществ в коре выветривания Этап 2. Перенос веществ и осадкообразование на водосборных площадях Этап 3. Осадкообразование в конечных водоемах стока</p>	<p>Литогенез</p>
<p>2. Стадия диагенеза (превращение осадков в породы)</p>	<p>Этап 1. Окислительное минералообразование в группе малоустойчивых компонентов осадка Этап 2. Восстановительное минералообразование в той же группе Этап 3. Перераспределение аутигенных минералов и возникновение стяжений; локальное уплотнение осадков</p>	<p>Литогенез</p>
<p>3. Стадия катагенеза</p>	<p>Региональная литификация пород под влиянием главным образом усиливающегося давления; частичное преобразование устойчивых, преимущественно терригенных и частью аутигенных компонентов породы</p>	<p>Метагенез</p>
<p>4. Стадия протометамоρφизма</p>	<p>Глубокие минералогические преобразования вещества осадочных пород, их структуры и текстуры под влиянием главным образом температуры</p>	<p>Метагенез</p>

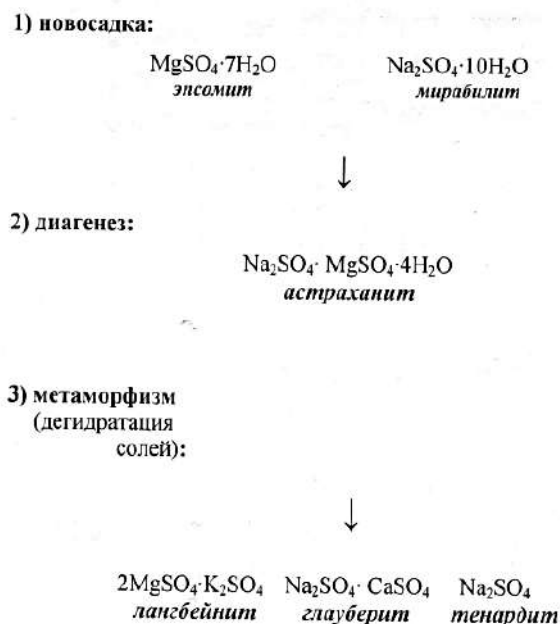


Рис. 17.7. Преобразование солей

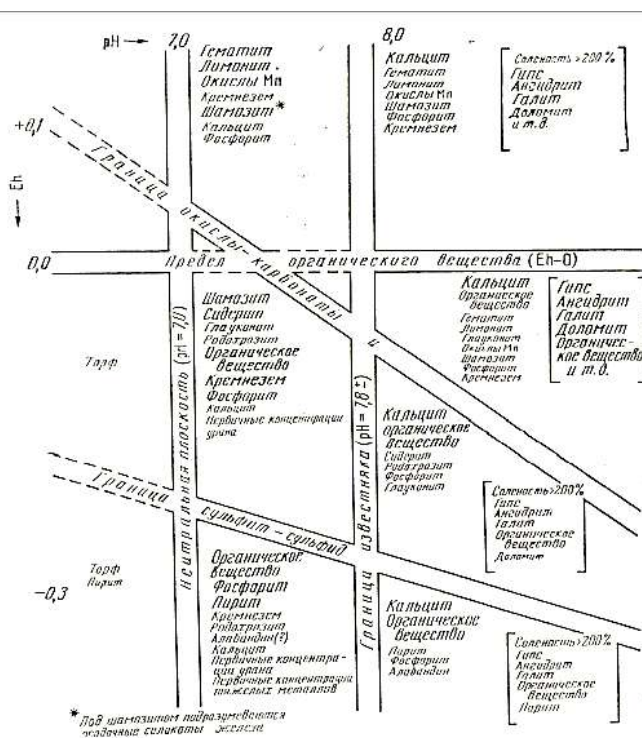


Рис. 17.8. Конечные ассоциации в химических осадках и характерные для них условия среды в выражениях Eh и pH (по Г. Гаррелсу) Ассоциации, взятые в прямые скобки, относятся к растворам повышенной солености (по В. Крумбейну)

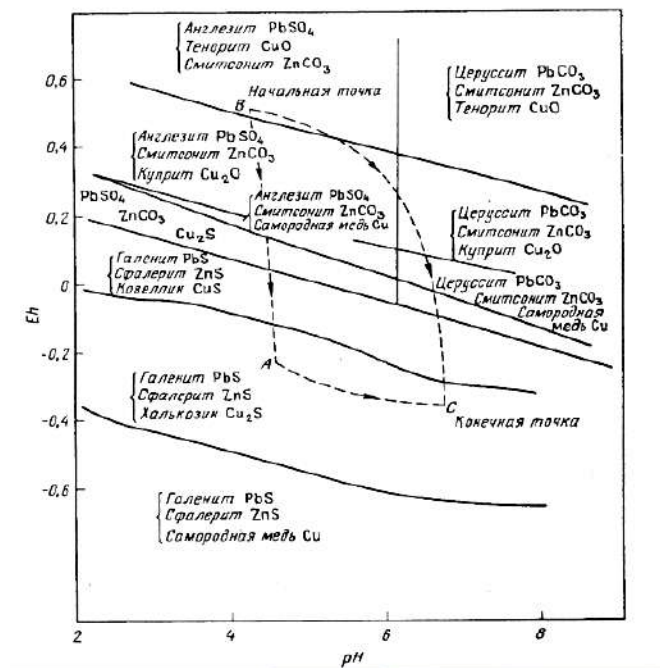


Рис. 17.9. Поля стабильности некоторых минералов меди, свинца, цинка в параметрах Eh-pH. Линиями ВАС и ВС намечены наиболее обычные тренды эволюции минерального состава от земной поверхности вниз (по Garrels, 1954)

Eh, v (вольт) – окислительно-восстановительный потенциал рассматривается по отношению к потенциалу нормального водородного электрода, условно принятому за нуль. Соответственно иные окислительно-восстановительные реакции располагаются выше (при положительных значениях потенциала либо ниже (при отрицательных значениях потенциала) потенциала нормального водородного электрода.

pH - отрицательный логарифм концентрации водородных ионов в растворе как показатель кислотнощелочных свойств последнего: pH = 0 отвечает раствору сильной кислоты; pH = 14 – раствору щелочей; pH = 7 – нейтральной среде

Осадочные месторождения по стадийному принципу (О.В. Япаскерт) ранжируются как **конседиментационные**, то-есть возникшие в основном в процессе накопления (седиментации) осадочного вещества (это: механические осадки – галечники, гравий, пески, россыпи; часть химических – соли, некоторые руды Al, Mn), и **постседиментационные**, то-есть образовавшиеся после завершения седиментации, но до начала метаморфических изменений горных пород.

Многие из химических, биохимических осадков и глины относятся к этой категории условно, так как процесс генерации полезных ископаемых, как правило, многостадийный, и обогащение рудным веществом, приобретение ими необходимых свойств и кондиционности зачастую продолжается и полностью реализуется во время диагенетического превращения осадка в горную породу. Поэтому для большинства

таких осадочных месторождений, как фосфориты, глины монтмориллонитовые, каолиновые и др., руды Fe, Mn и др. целесообразнее говорить о них как о **конседиментационно-диагенетических**

Особую категорию составляют **осадочно-катагенетические месторождения**, сформированные после диагенеза внутри осадочной оболочки Земли на глубинах ~0,5-10 км, под воздействием глубинных температур, давлений и внутриформационных вод. Это многочисленные месторождения U, V, REE, Cu, PbZn, локализованные в терригенных, глинистых и карбонатных толщах, а также нефть и газ. Среди них выделяют: **экзодиагенетические** (связаны с грунтовыми водами), **инфильтрационные** (связаны с нисходящими артезианскими водами), **эксфильтрационные** (связаны с восходящими седиментационными водами артезианских бассейнов)

Осадочные месторождения - результат осадконакопления на дне водоемов и последующего литогенеза, то-есть седиментогенеза (выпадение привносимого материала в осадок из механических взвесей, истинных или коллоидных растворов), диагенеза (уплотнение выпавшего осадка и выравнивание его химического состава под действием поровых вод) и катагенеза (окончательная стабилизация химического и минерального состава уплотненного осадка с его литификацией, то-есть превращением в горную породу.

По характеру осадконакопления осадочные месторождения разделяются на механические, химические и биохимические.

К **механическим** относятся месторождения смесей песка, гравия и глин, составляющих обломочные фракции осадков, а также преимущественно аллювиальные и литоральные россыпи Au, Pt, драгоценных камней (включая алмазы), минералов Sn, W, Ti, Ta, Nb, REE и других металлов.

К **химическим** – месторождения хлоридных, сульфатных и карбонатных солей Na, K и Mg, боратов, гипса и ангидрита, барита и витерита, Fe- и Mn- руд, бокситов, а также руд Cu, Mo, V и U, отложившихся из истинных либо коллоидных растворов.

К **биохимическим** – месторождения углеводородов (нефть, горючие газы, угли), микрозернистых, зернистых, желваковых и ракушечных фосфоритов, карбонатных и кремнистых пород, образование и осаждение которых связано с жизнедеятельностью организмов в водах и на дне водоемов



Рис. 17.10. Схема соотношения биологического и химического осаждения растворенных веществ из водной массы морей (по Н. Страхову с дополнениями В. Смирнова)

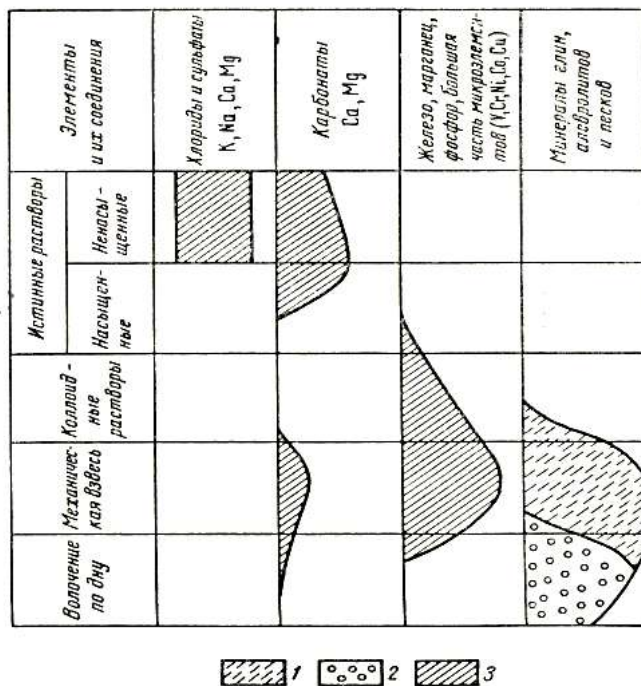


Рис. 17.11. Формы переноса реками основных компонентов осадков (карбонаты лишь для горных рек в засушливом климате) (по Н. Страхову) 1 – минералы глин; 2 – минералы песков и обломки пород; 3 – прочие компоненты

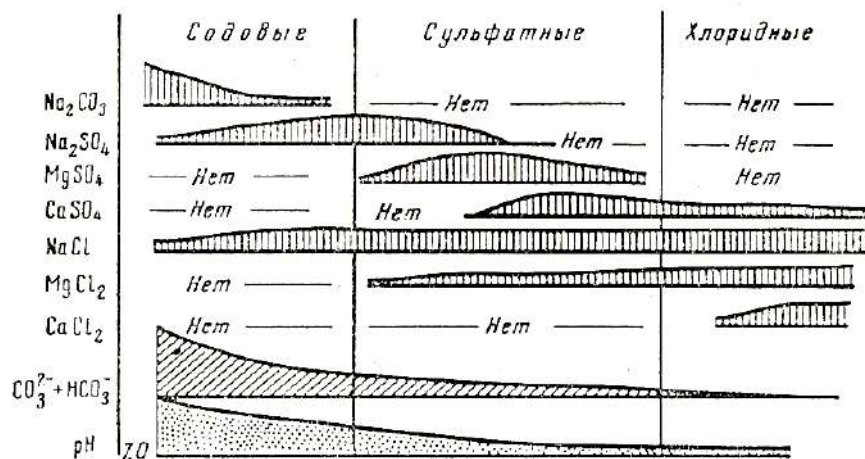


Рис. 17.12. Распределение солевых компонентов по основным гидрохимическим типам водоемов (по Н. Страхову)

Примеры месторождений

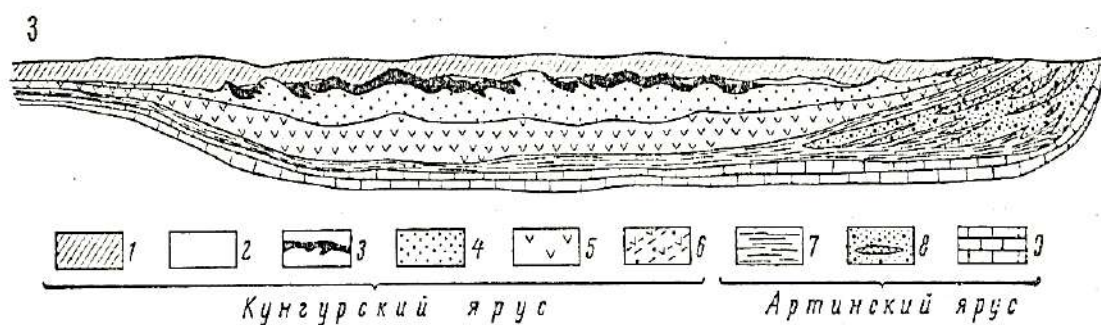


Рис. 17.13. Схематизированный разрез соляного месторождения Предуральского прогиба (по А. Иванову). 1 – покровные породы: гипсоносные глины, мергели, известняки, песчаники; 2 – покровная каменная соль; 3 – толща калийно-магниевых солей; 4 – подстилающая каменная соль; 5 – глинисто-ангидритовая толща; 6 – соленосные глины и мергели с гипсом и ангидритом; 7 – глины, известняки и доломиты; 8 – песчаники, мергели, глины и конгломераты; 9 – известняки

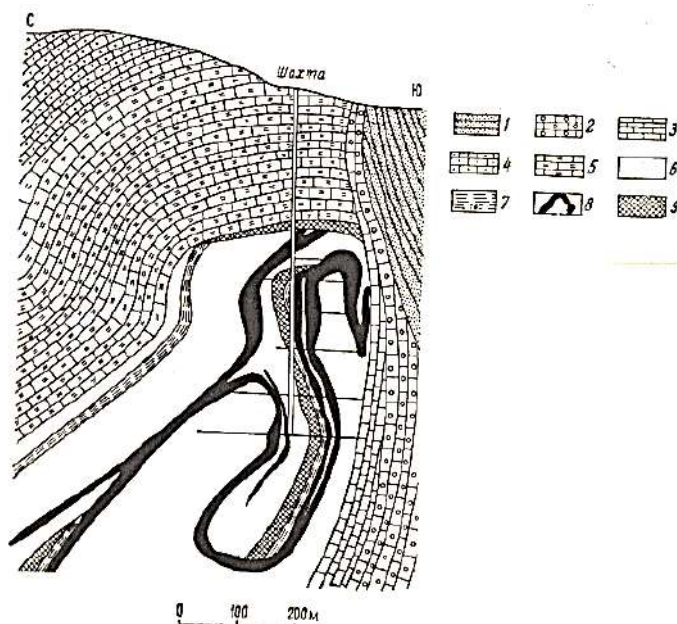


Рис. 17.14. Разрез месторождения солей Финенбург в Стассфурте (по Е. Фюльду). 1 – мел; 2 – раковистые известняки; 3 – верхние пестрые песчаники; 4 – средние пестрые песчаники; 5 – нижние пестрые песчаники; 6 – каменная соль; 7 – соленосная глина; 8 – калийные соли; 9 – главный ангидрит

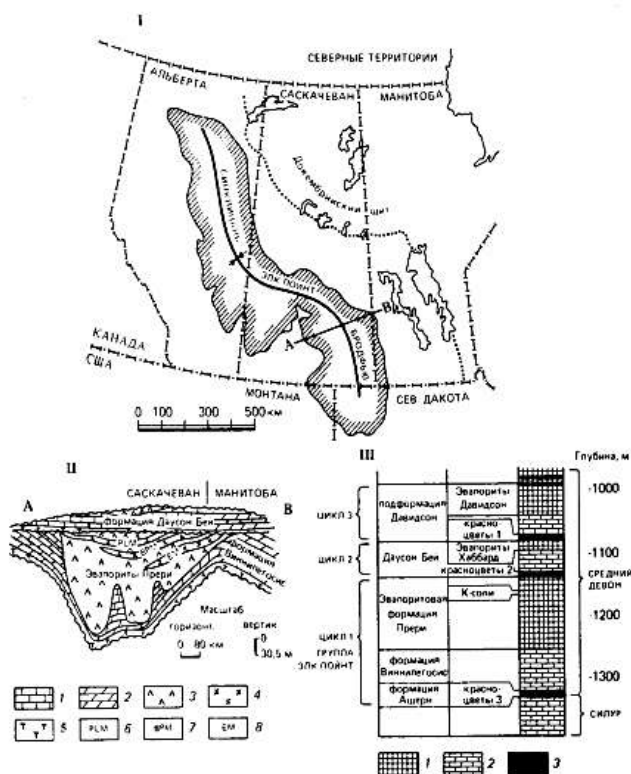


Рис. 17.15. Калийные соли Канады (по П.В.Харбену и Р.Л. Бейтсу) I – синклиналь Элк Пойнт Бродфью; II – поперечный разрез по линии АВ: 1 – известняки; 2 – доломиты; 3 –

эвапориты; 4 – калийные соли; 5 – известковистые сланцы; 6 – горизонт Пешенз Лейк; 7 – горизонт Белле Плейн; 8 – горизонт Эстергази. III – положение эвапоритовой формации Прери в разрезе среднего девона: 1 – соли; 2 – карбонаты; 3 – сланцы

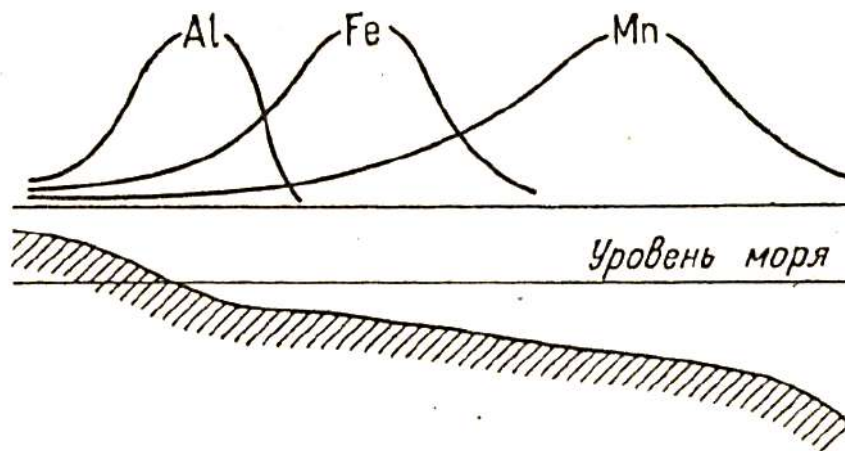


Рис. 17.16. Дифференциация руд алюминия, железа и марганца в прибрежной части водоема

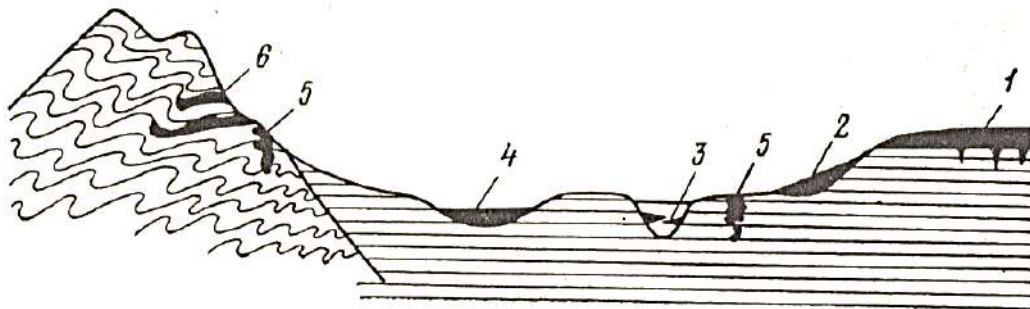


Рис. 17.17. Схема соотношения месторождений бокситов, различных по условиям образования (по В.И. Смирнову, 1989) Бокситы: 1 – остаточные (латеритные); 2 – склоновые (делювиальнопролювиальные); 3 – долинные (аллювиальные); 4 – котловинные; 5 – карстовые; 6 – геосинклинальные

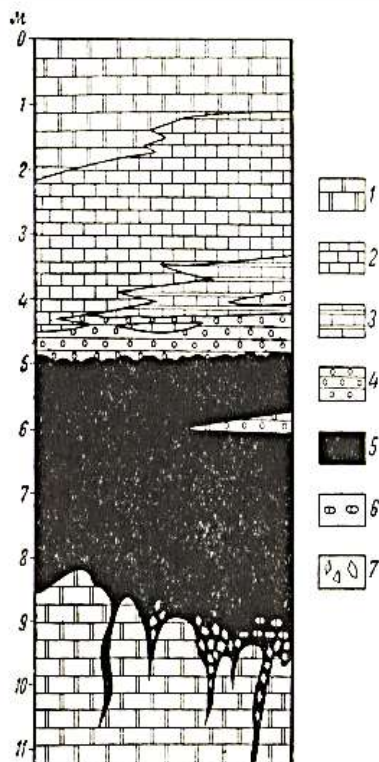


Рис. 17.18. Обобщенная геологическая колонка девонских бокситовых залежей Северного Урала (по Г. Бушинскому) 1 – известняки светло-серые, массивные; 2 – известняки темно-серые; 3 – мергели темно-серые и черные, с прослоями известняков; 4 – бокситы серые, слоистые, с морской фауной; 5 – бокситы красные; 6 – гальки известняка; 7 – угловатые куски известняка

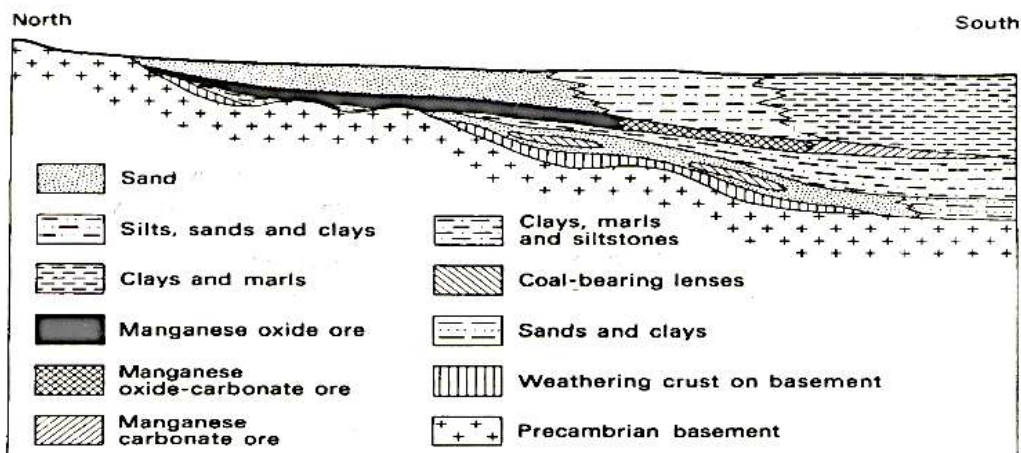


Рис. 17.19. Схематизированный поперечный разрез через Никопольское марганцевое месторождение, демонстрирующий зонность марганцевых руд и трансгрессивное залегание осадочных пород, перекрывающих докембрийский фундамент Восточно-Европейской платформы (По Варенцову, 1954)

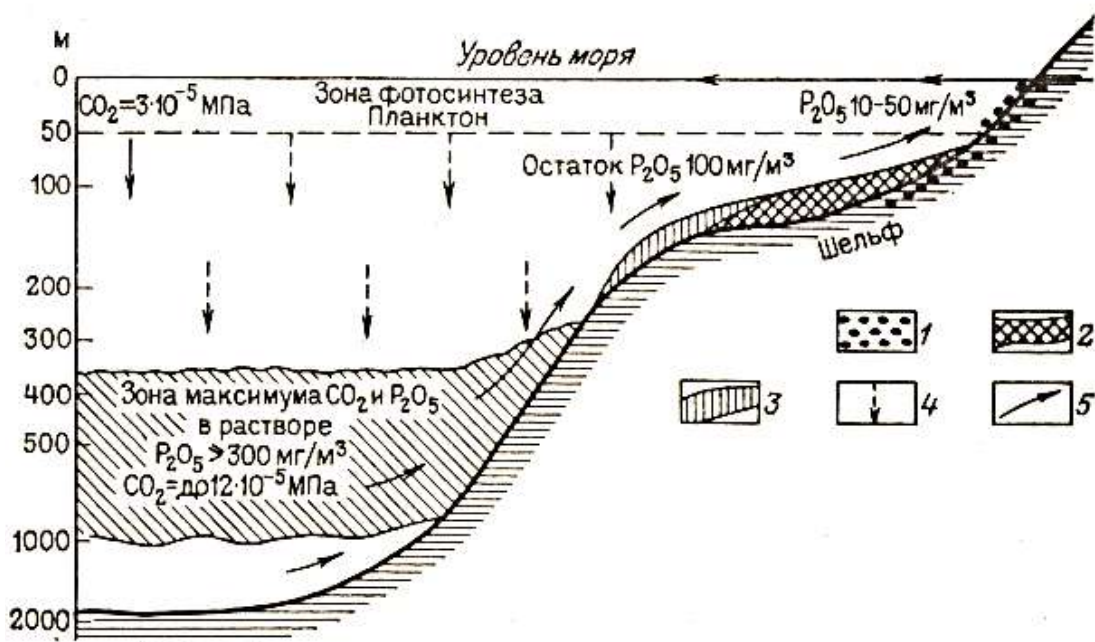


Рис. 17.20. Схема фосфоритообразования – осаждения фосфатов из морской воды в зоне шельфа (по А. Казакову) 1-3 – фации: 1 – береговых галечников и песков; 2 – фосфоритная; 3 – известковых осадков; 4 – падение остатков планктона; 5 – направление течений

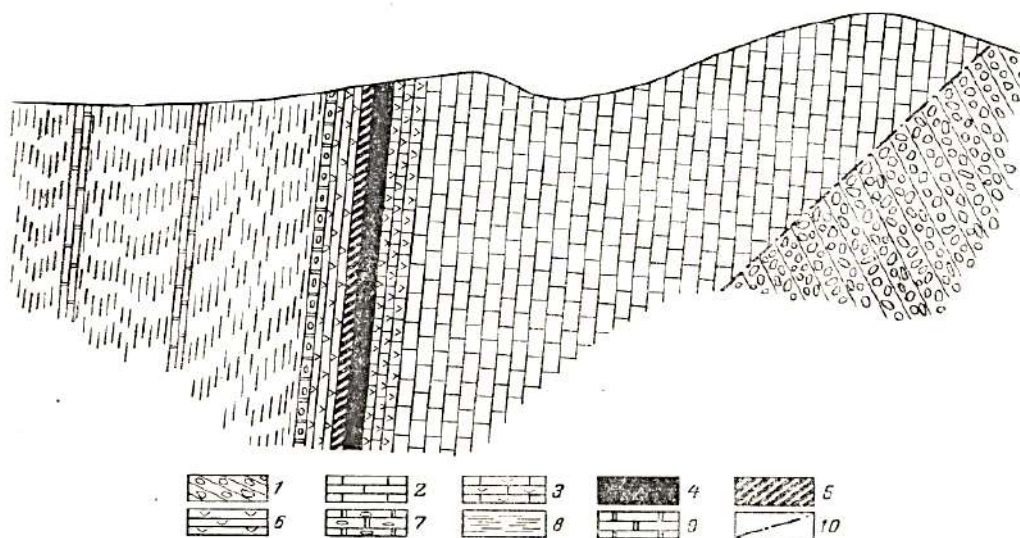


Рис. 17.21. Схематический геологический разрез через центральную часть фосфоритового месторождения Каратау 1 – верхний девон (когломераты); 2 – нижний силур-средний кембрий (нерасчлененные известняки и доломиты); 3 – нижний силур-средний кембрий (горизонт «бурых известняков»); 4 – средний кембрий (фосфатная серия, главная фосфоритовая пачка); 5 – средний кембрий (фосфатная серия, фосфатно-кремневая и нижняя фосфоритовая пачки); 6 – средний кембрий (фосфатная серия, кремневая пачка); 7 – средний

кембрий (горизонт «нижних доломитов»); 8 – нижний кембрий (нерасчлененные кремнистые породы); 9 – нижний кембрий (первый и второй горизонты доломитов); 10 – линии тектонических нарушений

ВОЗРАСТ	средняя мощность м	КОЛОНКА	ПОРОДЫ
Q	5.62		ПЕСКИ И СУПЛИНЫ
K ₁ ψ	2.06		ПЕСКИ КВАРЦЕВЫЕ, СЛОИСТЫЕ, МЕЛКОСЕРНИСТЫЕ
K ₁ φ	0.0-0.4 0.36		ГЛИНА, ПЕРЕХОДЯЩАЯ В ФОССЛИИ
J ₃ γV	0.62		ФОСФОРИТНАЯ ПЛИТА
J ₃ γV	0.30		Фосфоритные конкреции в лейкокритном песке
J ₃ γV	2.51		ПЕСКИ ГЛАУКОНИТОВЫЕ С РЕДКИМИ ЖЕЛВАКАМИ ФОСФОРИТА, ВНИЗУ С ПРОСЛОЙКАМИ ФОСФОРИТА И ГЛИНЫ
J ₃ πV	0.27		ФОСФОРИТНЫЙ СЛОЙ
J ₃ αK			ГЛИНА ЧЕРНАЯ СЛОИСТАЯ

Рис. 17.22. Стратиграфофолитологический разрез пород Егорьевского месторождения желваковых фосфоритов (по материалам геологов Егорьевской ГРП)

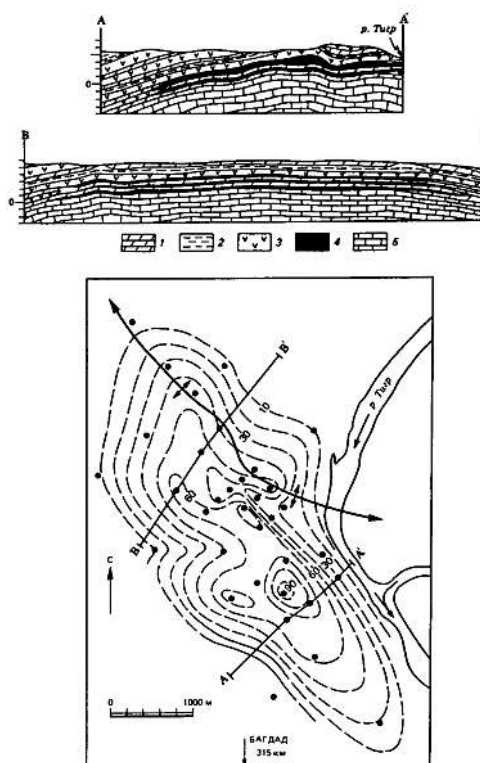


Рис. 17.23. Месторождение серы Мишрак в Ираке (по Баркеру, Кохрану, Семраду)
Вверху – геологические разрезы: 1 – доломиты, известняки, мергели; 2 – глинистые сланцы; 3 –

*гипс; 4 – сера; 5 – евфратские известняки. Внизу – карта изопрахит подошвы серной залежи;
указаны линии геологических разрезов*

Образование уникального месторождения обусловлено благоприятным сочетанием мощных толщ сульфатных пород, крупных скоплений углеводородов, их тесной гидродинамической связью по разломам, трещинам и пористым закарстованным породам, наличием антиклинальной структуры как ловушки для сероводорода, образовавшегося за счет сульфатов, присутствием сульфатредуцирующих бактерий (*Desulfovibrio desulfuricans*).

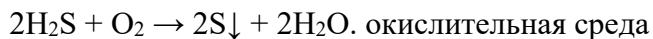
Образование стратиформного месторождения самородной серы Мишрак в Ираке

Реакции восстановления сульфатов (гипс и ангидрит формации нижний Фарс) до сероводорода и окисление последнего с образованием стратиформного месторождения самородной серы Мишрак в Ираке.

В результате взаимодействия сульфатных пород с углеводородами при участии сульфатредуцирующих бактерий произошло образование сероводорода и вторичного кальцита:

$\text{CaSO}_4 + \text{CH}_4 + (\text{анаэробные бактерии}) \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$; восстановительная среда

Накопившийся практически на месте сероводород, оказавшись благодаря инфильтрации богатых кислородом поверхностных вод р. Тигр в окислительных условиях, переходил в элементарную серу, кристаллизовавшуюся в пустотах и порах вторичного известняка:



Цеолиты

Цеолиты - водные алюмосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов с открытой каркасно-полостной структурой. Их трехмерный каркас состоит из алюмокремнекислородных тетраэдров $[(\text{Si},\text{Al})\text{O}_4]$, объединенных в простые, двойные и более сложные кольца; каждое кольцо включает 4, 5, 8 и более тетраэдров. Поскольку часть 4-х валентных ионов Si замещена 3-х валентными ионами Al, этот каркас имеет отрицательный заряд, компенсируемый на стенках полостей 1- и 2-х валентных катионов Na, K, Ca, Mg, реже Ba, Sr, Li и других металлов.

Суммарный объем полостей и соединяющих их каналов в цеолитах составляет около 50% объема кристалла, а диаметр этих каналов на поверхности кристалла (т.н. "входных окон") варьирует от 0,26 до 0,8 нм. Внутренние полости и соединяющие их каналы заполнены т.н. "цеолитной" водой.

В отличие от сходных полевых шпатов, цеолиты имеют более "рыхлую" структуру. Переход цеолитов в полевые шпаты заключается в перестройке этой структуры с ее уплотнением.

Катионы щелочных и щелочземельных металлов могут замещаться катионами многих тяжелых металлов (катионно-обменные свойства); цеолитная вода легко выделяется при медленном нагревании до 150-400°C без разрушения каркаса (дегидратация), а дегидратированные цеолиты способны вновь поглощать воду (регидратация) либо другие жидкости и газы (адсорбционная способность); благодаря наличию сквозной системы каналов и полостей, сопоставимых по размерам с атомами, молекулами и ионами, кристаллы цеолитов могут пропускать такие частицы, если их величина не превышает диаметра входных окон (молекулярно-ситовой эффект). Перечисленные важнейшие свойства цеолитов определяются их составом и структурой. Так, максимальным поглотительным эффектом обладают высококремнистые цеолиты (с большой величиной отношения Si/Al), характеризующиеся высокой пористостью и большим диаметром входных окон.

Важнейший природный цеолит - Клиноптилолит $\text{Na}_6(\text{AlO}_2)_6(\text{SiO}_2)_{30} \cdot 24 \text{H}_2\text{O}$

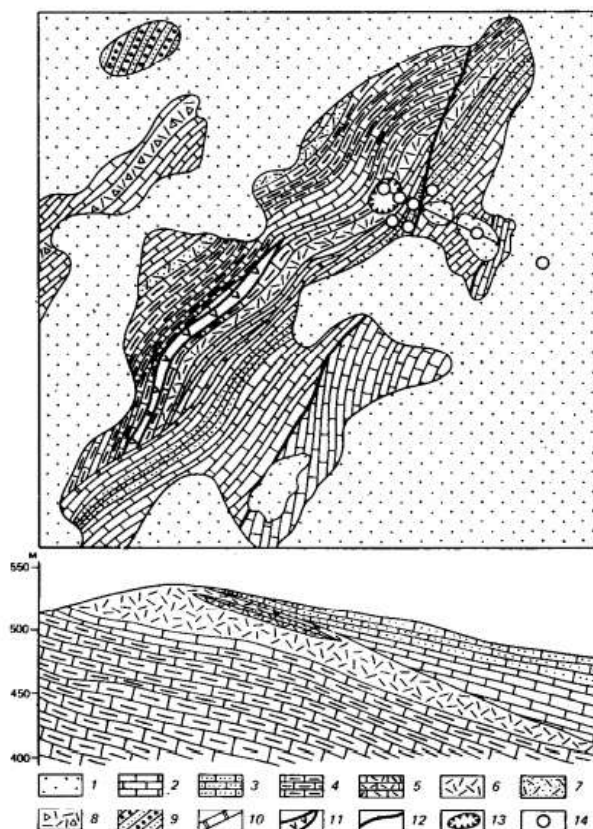


Рис. 17.24. Схематическая геологическая карта и разрез Айдагского месторождения клиноптилолита, Азербайджан (по А.И. Кулиеву) 1 – современные отложения; кампанмаастрихт: 2 – плитчатые известняки; 3 – песчанистые известняки; верхний сантон:

4 – пелитоморфные известняки; 5 – известняки с туфогенным материалом; 6 – цеолитизированные туфы (Айдагский пласт); 7 – цеолитизированные туфы (средний пласт); 8 – цеолитизированные туфы-трассы (нижний пласт); 9 – нижний сантон: чередование туфопесчаников и туфогравелитов; 10 – базальный слой; 11 – силл диабазовых порфиритов; 12 – разрывные нарушения; 13 – туфовый карьер; 14 – скважины

Генезис месторождения (Рис. 17. 24) – позднедиагенетическое преобразование пепловых туфов под воздействием морских или поровых вод нормальной солености и щелочности

Лекция 18

Месторождения выветривания

Экзогенная серия месторождений полезных ископаемых (общие сведения)
Экзогенная (седиментогенная, гипергенная) серия объединяет месторождения полезных ископаемых, образованные в результате древних и современных геохимических процессов, происходящих под воздействием солнечной энергии на поверхности Земли и дне ее водоемов (болот, озер, рек, морей и океанов), а также в ее тонкой верхней части, включающей горизонты грунтовых и частично пластовых подземных вод.

Экзогенные месторождения – результат механического и биохимического преобразования и дифференциации минерального вещества эндогенного происхождения; среди них выделяют остаточные, инфильтрационные, россыпные и осадочные образования.

Месторождения экзогенной серии имеют большое промышленное значение. Среди различных генетических типов месторождений большинства полезных ископаемых крупные и гигантские объекты часто принадлежат этой серии.

Остаточные месторождения формируются вследствие выноса растворимых минеральных соединений из коры выветривания и накопления в ней трудно растворимого остатка, имеющего экономическую ценность (руды никеля, железа, марганца, боксит, магнезит, каолин).

Инфильтрационные месторождения образуются при осаждении из подземных вод ценных растворенных веществ ниже поверхности Земли (руды урана, меди, самородная сера).

Россыпные месторождения создаются при накоплении в рыхлых отложениях склонов, рек и морских побережий тяжелых и прочных ценных минералов (самородное золото, платина, минералы титана, вольфрама, олова).

Осадочные месторождения образуются в процессе осадконакопления на дне морских и континентальных водоемов (уголь, горючие сланцы, нефть, горючий газ, соли, фосфориты, руды железа, марганца, алюминия, урана, меди, ванадия; гравий, пески, глины, известняки, гипс, яшма, трепел).

Месторождения выветривания

1. Выветривание (общие сведения)
2. Остаточные месторождения
3. Инфильтрационные месторождения
4. Кора выветривания месторождений полезных ископаемых

Выветривание

Выветривание - это сложный процесс физического и химического изменения пород, которые образовались в основном при высоких температурах и давлениях и которые должны приспособиться к новым условиям существования на земной поверхности. Породы как компоненты литосферы стремятся к термодинамическому равновесию в новых физико-химических условиях.

Основные агенты преобразования горных пород при выветривании:

вода, кислород, уголекислота, органические и неорганические кислоты, микроорганизмы (бактерии), температура.

Химические реакции разложения горных пород при выветривании: окисления (переход бескислородных и закисных соединений в более устойчивые окисные формы), гидратации (образование гидроксильной, кристаллогидратной, цеолитной и адсорбированной воды в минерале), гидролиза (разрушение силикатов с образованием глинистых минералов), диализа (диффузное удаление из глинистых продуктов катионов металлов).

Подвижность химических элементов при выветривании:

- 1 - энергично выносимые (Cl, Br, J, S);
- 2 - легко выносимые (Ca, Na, K, F);
- 3 - подвижные (Si, P, Mn, Co, Ni, Cu);
- 4 - инертные (Fe, Al, Ti).

Минералы коры выветривания

Минералы коры выветривания:

- реликтовые (первичные минералы коренных пород, устойчивые при выветривании: кварц, рутил, магнетит и др.);
- образовавшиеся в начальную стадию разложения горных пород (гидрослюды, гидрохлориты и др.);
- аморфные переходные коллоидные образования, со временем превращающиеся в кристаллические аналоги (халцедон, гель бурого железняка, вад и др.);
- вторичные минералы как конечные продукты выветривания (оксиды и гидроксиды алюминия, железа, марганца).

Профили выветривания:

- **гидрослюдистый** (насыщенный сиалитный: гидратное и гидролизное преобразование первичных силикатов без существенной миграции кремнезема; типоморфные минералы – гидрослюды, гидрохлориты, бейделлит, монтмориллонит);

- **глинистый** (ненасыщенный сиалитный: некоторый дефицит кремнезема, частично вынесенного из зоны выветривания; типоморфные минералы – каолин, галлуазит, нонтронит, кварц);

- **латеритный** (алитный: нарушение связей между кремнеземом и глиноземом при интенсивном выносе первого; типоморфные минералы – гиббсит и другие гидроксиды алюминия, оксиды и гидроксиды железа)

Зональность кор выветривания

В процессе выветривания верхние зоны разрастаются за счет нижних...промежуточные зоны исчезают и формируется кора сокращенного профиля (зона конечного гидролиза) (Рис. 18.1).

В обстановке сдерживающего развития выветривание может задержаться на промежуточных стадиях с возникновением коры неполного профиля (например, продукт гидратации и начального гидролиза).

В формировании коры выветривания существенны: климат, состав разлагаемых пород, тектонические явления, рельеф местности, уровень грунтовых вод.

п о ч в а	
зона конечного гидролиза (гидроксиды Al, Fe, Mn)	pH < 5
зона гидролиза и конечного выщелачивания (нонтронит, каолинит)	pH = 5...8
зона гидратации и начального гидролиза (гидрослюды и гидрохлориты)	pH = 7,5...8,5
зона начальной дезинтеграции и гидратации (первичные минералы, по трещинам - гидрослюды и гидрохлориты)	pH = 8,5...9
к о р е н н ы е	п о р о д ы

Рис. 18.1. Зональность кор выветривания

Месторождения выветривания подразделяются:

1. по механизму образования

- остаточные (растворение и вынос поверхностными водами «пустой» минеральной массы и концентрация в остатке полезного ископаемого).
- инфильтрационные (растворение ценных составляющих горных пород, их инфильтрация и переотложение в нижних частях коры выветривания либо вне ее).

2. по форме и условиям залегания

- площадные (плащом перекрывают горные породы, за счет которых они возникли).
- линейные (жилообразные тела, проникающие вглубь коренной породы по системе трещин на десятки – сотни м).
- карстовые (выполняют карстовые полости обычно среди известняков).

3. по степени последующих преобразований

- неизмененные
- переотложенные (смещение минеральной массы по склону местности)
- преобразованные (в связи с дополнительным привнесом соединений, не входящих в состав первоначальных продуктов разложения, могут развиваться более позднее ожелезнение, омарганцевание, окремнение и т.п.)

4. по отношению к поверхности

- открытые (выходят на поверхность)
- погребенные (под более молодыми осадками, как современными, так и древними)

К остаточным продуктам выветривания принадлежат месторождения силикатных никелевых руд, бурых железняков, магнезита, марганца, бокситов, каолина, апатитов, барита, некоторых благородных и редких металлов.

Месторождения силикатных никелевых руд связаны с корами выветривания серпентинитов, формировавшихся в обстановке тропического и субтропического климата мезозойского, третичного и четвертичного времени. Они известны на Южном Урале, в Бразилии, Новой Каледонии, Филиппинах, Индонезии, Мадагаскаре, Кубе, Австралии, Албании и в др. странах.

Одно из южноуральских месторождений приурочено к коре выветривания серпентинитового массива, сформировавшись в течение длительного континентального периода от поздней перми до средней юры в обстановке жаркого субтропического

климата, сменившегося в дальнейшем умеренным и влажным климатом. Никель в материнских породах находится преимущественно в оливине и ромбическом пироксене, из которых переходит в серпентин. При выветривании серпентина он переходит в водный раствор, выносится из верхней части в глубь коры и вновь отлагается в виде вторичных минералов: гарниерита – $\text{Ni}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, ревдинскита – $(\text{Ni},\text{Mg})_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$, айдырлита – $\text{Ni}_2\text{Al}_4(\text{SiO}_4)(\text{OH})_4 \cdot 5,5\text{H}_2\text{O}$ и др. В нижней части нижней зоны накапливаются переотложенные карбонаты магния, кальция и железа.

Содержание никеля – 0,5-5% (ср. около 1%);

Содержание кобальта – 0,03-0,07%

Примеры месторождений

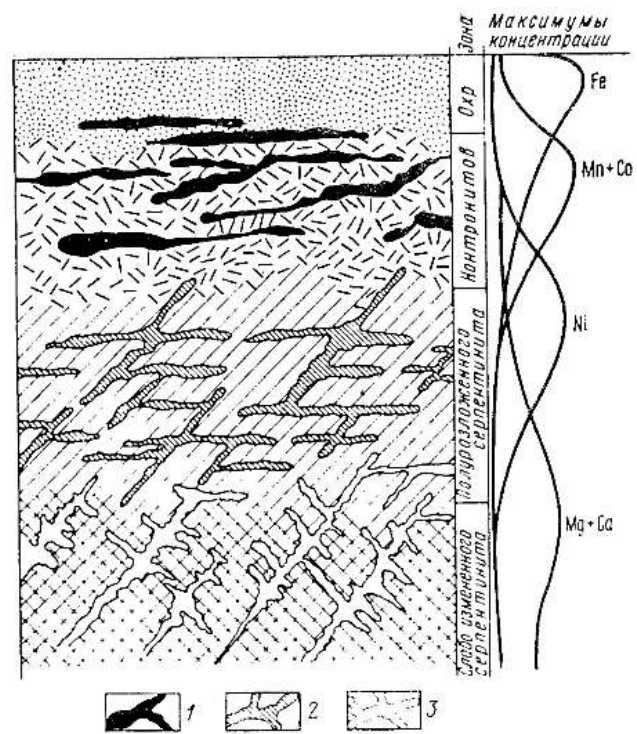


Рис. 18.2. Схема зонального строения остаточного месторождения силикатных никелевых руд в коре выветривания серпентинитов площадного типа. (по В.И.Смирнову, 1989)
1 – гидроксиды Mn с сорбированным Co; 2 – гидросиликаты Ni; 3 – карбонаты Mg и Ca

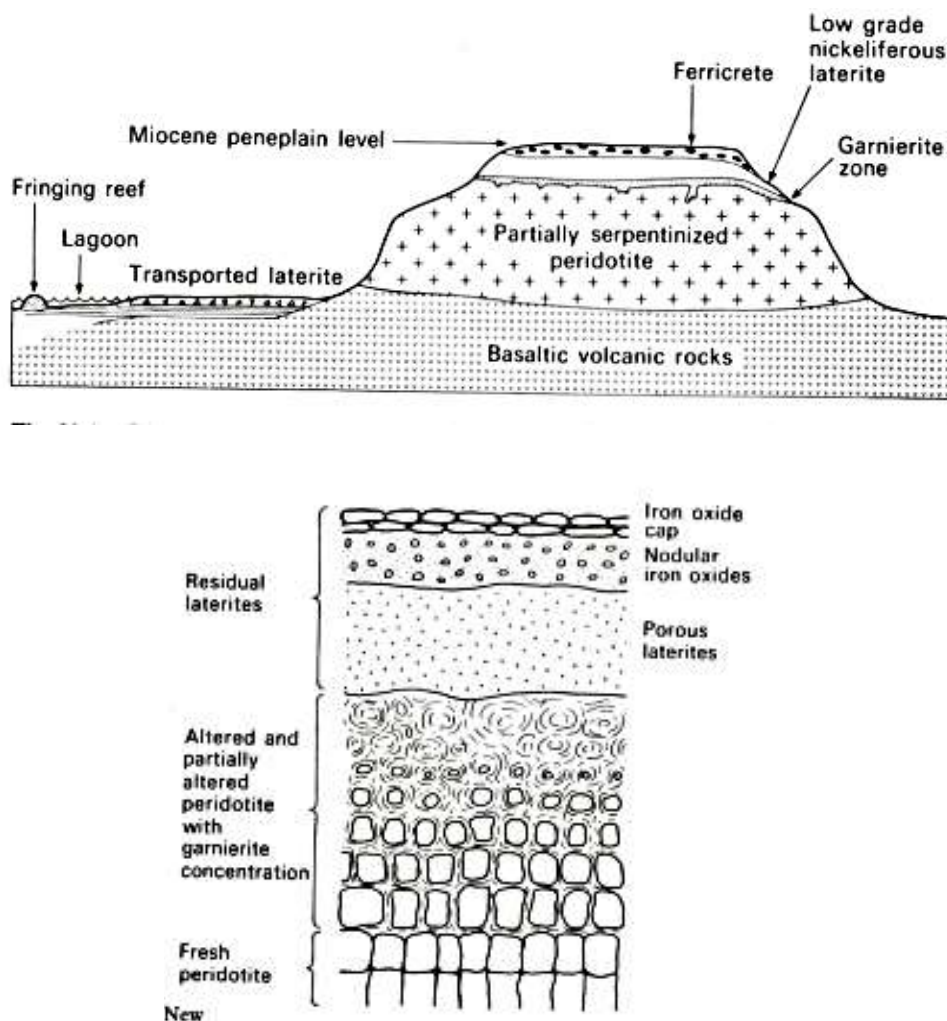


Рис. 18.3. Новая Каледония. Вверху: Схематический профиль формирования латеритной коры выветривания и связанной с ней силикатной Ni минерализации. Внизу: схематический разрез силикатных Co-Ni месторождений Новой Каледонии

Остаточные месторождения бокситов чаще встречаются площадные и карстовые залежи. **Площадные, или латеритные**, бокситы плащами перекрывают коренные породы, при выветривании которых они образовались. Они формировались в обстановке жаркого и влажного климата вследствие выноса щелочеземельных элементов, щелочей и кремнезема и накопления в остатке глинозема. Известны мезозойские, третичные и четвертичные месторождения бокситов. Они создавались при выветривании различных глиноземсодержащих пород – щелочных (Бразилия, Гвинея, США), кислых (Индия, Африка, Индонезия, Австралия), основных (Индия, Гвинея, США и др.)

Карстовые бокситы, или бокситы «terra-росса», выполняют полости раскарстованных карбонатных пород. При выветривании и эрозии последних такие полости выполнялись нерастворимым глинистым и железистым остатком, преобразующимся в массу перемежающихся скоплений глин и железистых бокситов.

Карстовые месторождения известны в Испании, Франции, Греции, Турции, в Африке, Индии, Индонезии, США. В России они находятся на Тимане, Урале, Енисейском кряже.

В высокосортных бокситах содержание глинозема (Al_2O_3) превышает 50% при отношении его к кремнезему (SiO_2) 12-10 : 4. Минеральный состав как латеритных, так и карстовых бокситов определяется наличием моногидратных (бемит, диаспор) и тригидратных (гиббсит, гидраргиллит) соединений глинозема

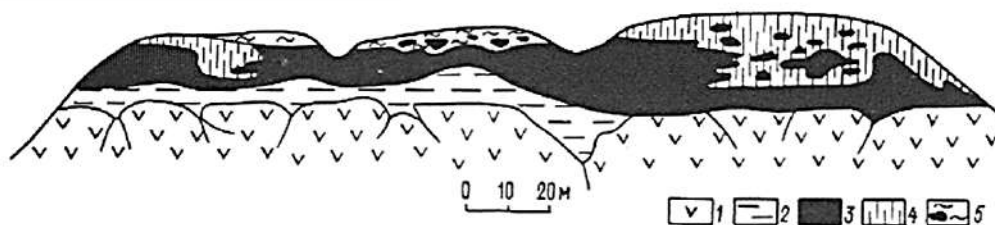


Рис. 18.4. Разрез бокситовых залежей в глинистых латеритах базальтового плато в Западной Индии (по Синякову, 1987). 1 – базальты; 2 – литомарж (кремнистая глиноподобная, обычно тонкослоистая или листоватая порода, как правило залегающая под латеритами); 3 – боксит (алюминиевая руда, состоящая в основном из гидроксидов Al , оксидов и гидроксидов Fe и глинистых минералов; гл. минералы – гиббсит, бемит и диаспор) 4 – высоко-железистый латерит (богатый Fe и Al продукт выветривания горных пород; состоит из каолинита, гетита, гематита, гиббсита и кварца); 5 – красные глины с обломками латерита

Остаточные месторождения марганца возникают при выветривании разных горных пород, содержащих карбонаты, силикаты и безводные оксиды марганца. Они преобразуются в гидроксиды четырехвалентного марганца (вернадит, псиломелан, трансформирующиеся в пиролюзит $-MnO_2$), устойчивые в коре выветривания (Рис. 18.5). При этом из пород, содержащих марганец в количестве десятые доли – первые %%, формируются крупные остаточные месторождения с содержанием марганца в десятки %%. Они известны на Кубе, в Индии, Южной Африке (Габон, Гана), Бразилии, Австралии и др. странах.

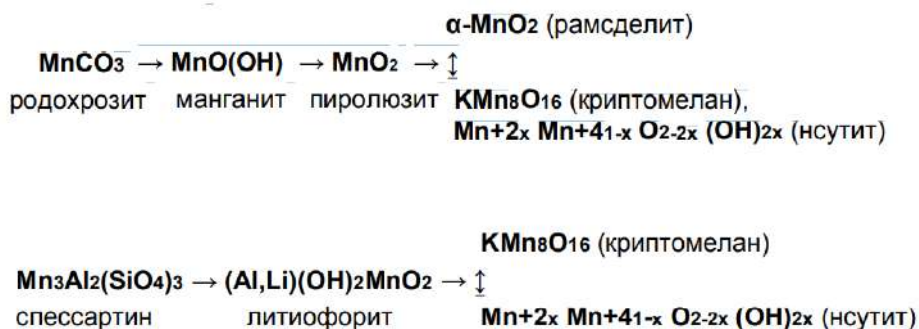


Рис. 18.5. Остаточные месторождения марганца

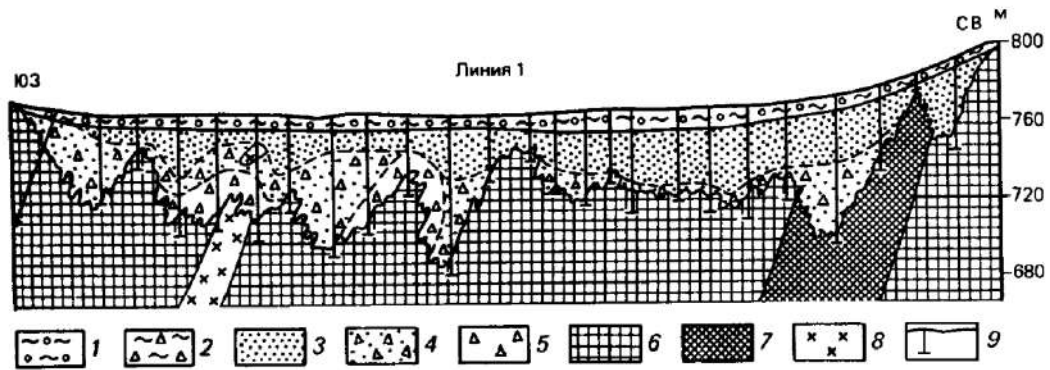


Рис. 18.6. Геологический разрез апатитовой коры выветривания Белозиминского массива (по В.Г.Кузнецову). Условные обозначения: 1 - аллювий; 2 - делювий; 3 - карбонатная охра; 4 - обохренная "сыпучка"; 5 - необохренная "сыпучка"; 6 - карбонаты кальцитовые; 7 - карбонаты анкеритовые; 8 - ийолиты; 9 - буровые скважины.

К инфильтрационным принадлежат месторождения урана, меди, железа, серы.

Инфильтрационные месторождения урана

Труднорастворимые четырехвалентные соединения урана, свойственные глубинным уровням земной коры в коре выветривания окисляются и переходят в легкорастворимые шестивалентные соединения. Большая часть урана при этом выносится грунтовыми водами нередко на значительное расстояние, за пределы источников выщелачивания и переотлагается с образованием инфильтрационных месторождений.

Переотложение происходит на геохимических барьерах механического и физико-химического характера. Механические барьеры обусловлены торможением в движении грунтовых вод (водонепроницаемые экраны), а физико-химические барьеры связаны с резким изменением химической обстановки, особенно щелочно-кислотных и окислительно-восстановительных условий.

Для типичных инфильтрационных месторождений урана выделяется три зоны смены условий рудоотложения на пути движения подземных вод:

- тыловая, окисления и выщелачивания (+Eh);
- центральная, инфильтрационного рудообразования (Eh);
- передовая, неизмененных пород (-Eh) (Рис. 18.7).

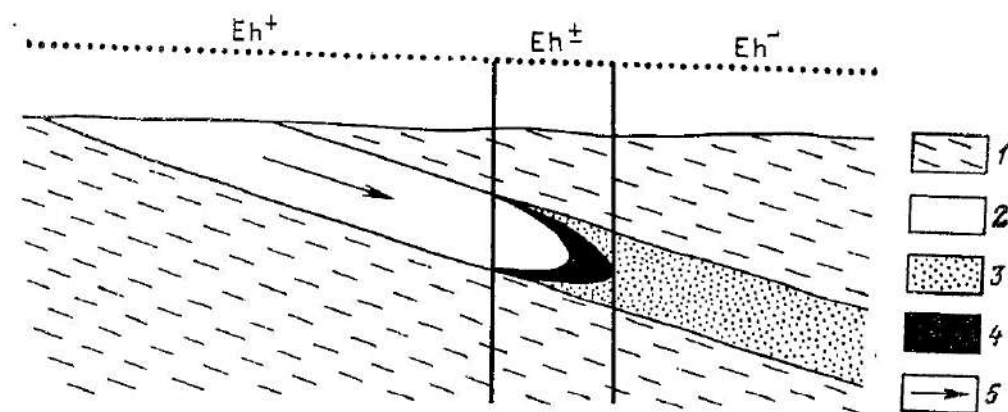


Рис. 18.7. Схема зонального строения инфильтрационного уранового месторождения (по В.И.Смирнову). 1 – водоупорные породы (глины); 2 – выщелоченный песчаник; 3 – свежий песчаник; 4 – переотложенная урановая руда; 5 – направление движения грунтовых вод

Кора выветривания месторождений полезных ископаемых

Тела полезных ископаемых вблизи земной поверхности подвергаются как химическому, так и физическому выветриванию, которые изменяют их минеральный и химический состав и концентрацию компонентов.

Сущность изменений состоит в том, что минералы, слагающие полезное ископаемое, попадая в обстановку высокого кислородного потенциала оказываются неустойчивыми и разлагаются; при этом образуются новые соединения, часть которых сохраняется на месте, другая – мигрирует и переотлагается поблизости, третья – выносится на значительное расстояние и рассеивается.

В соответствии с этим основное направление изменений определяется как **окисление**, а интервал по вертикали, в пределах которого эти изменения происходят, называется **зоной окисления**. Наиболее радикальные изменения при выветривании претерпевают **сульфидные залежи, а также некоторые пласты углей, залежи серы и солей**.

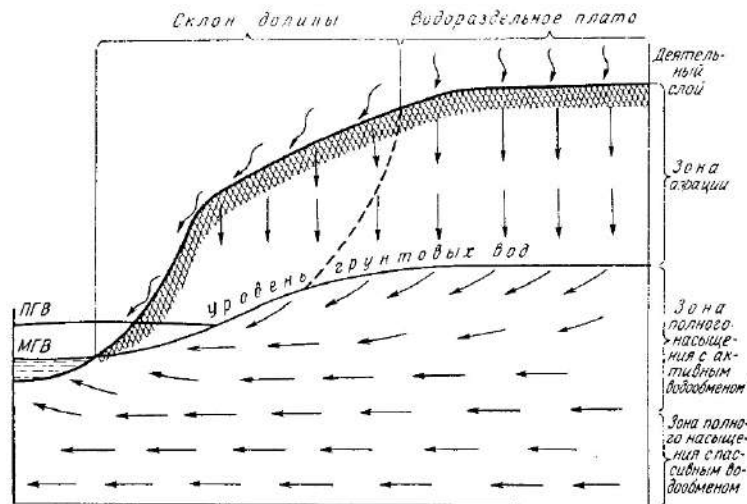


Рис. 18.8. Схема циркуляции подземных вод при благоприятных условиях инфильтрации осадков (по В.И. Смирнову) Горизонты речной воды: ПГВ – паводковый, МГВ – межвенный

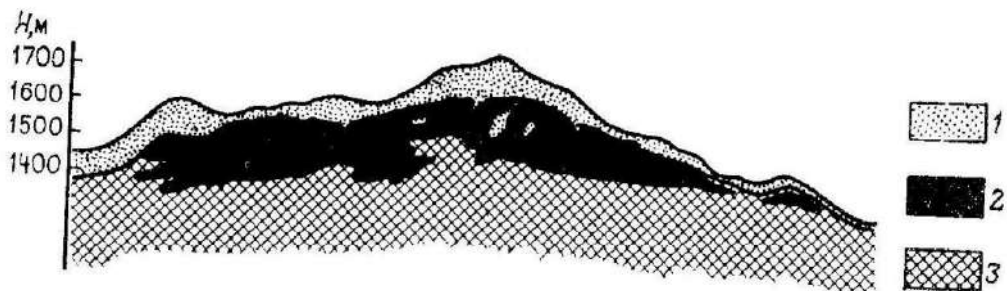
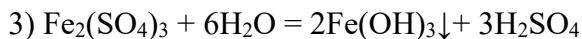
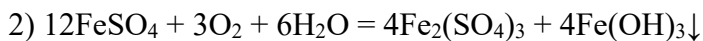
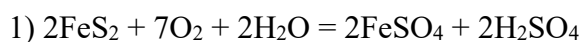


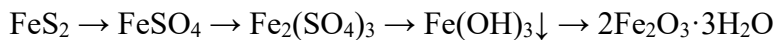
Рис. 18.9. Соотношение зон окисленных, вторичных сульфидных и первичных руд в поперечном разрезе месторождения Ла Каридад (по В.И. Смирнову, 1989). Зоны руд: 1 – окисленных; 2 – вторичных сульфидных; 3 – первичных сульфидных

Поэтапный химизм процесса изменения приповерхностных частей сульфидных месторождений на примере пирита

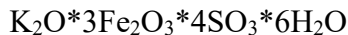


Гидроксид железа – $\text{Fe}(\text{OH})_3$ - представляет собой легко коагулирующий гидрозоль; выпадающий гель дает начало разнообразным гипергенным минералам железа – гидрогематиту, гетиту, лимониту и др.

Таким образом, **цепь химических преобразований сульфида железа в зоне окисления** имеет следующий вид:



В результате этих преобразований в верхних частях сульфидных рудных тел накапливаются массы гидроксидов железа (бурых железняков, т.н. «железная шляпа»), для которой характерен **ярозит**:



По степени устойчивости и по характеру изменения главных рудообразующих минералов в верхней, окисляющейся части рудных тел месторождения металлов подразделяются на 4 группы:

- неизменяющиеся или слабо изменяющиеся (окисидные и гидроксидные руды Fe и Mn, бокситы, Cr, Sn (касситерит), W, Hg, Au в Q-жилах, Pt);
- с изменением минерального состава без выноса металлов (карбонатные руды Fe и Mn, руды Pb, As, Bi, Sb, Ti (ильменит));
- с изменением минерального состава и выносом металла (эндогенные руды Zn, Cu, U, Ni, Co, Mo, Au в сульфидных рудах);
- с накоплением металлов, отсутствующих в первичной руде (в зоне окисления свинцовых руд за счет выщелачивания из окружающих пород «кларковых» Mo и V появляются вульфенит – $\text{Pb}(\text{MoO}_4)$ и ванадинит – $\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{VO}_4)_3$).

Месторождения неметаллических полезных ископаемых подразделяются на:

- практически не изменяющиеся в коре выветривания (алмазы, горный хрусталь, корунд и др.);
- слабо изменяющиеся (пегматиты, асбест и др.);
- заметно изменяющиеся (угли, сера самородная, соли).

Рудные минералы в зоне окисления (переходы, устойчивость)

галенит PbS → англезит PbSO_4 → церуссит PbCO_3 ;

сфалерит ZnS → цинкозит ZnSO_4 → смитсонит ZnCO_3 (в карбонатной среде); → ZnSO_4 (вынос в силикатной среде); каламин $\text{Zn}(\text{OH})_2(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{H}_2\text{O}$;

халькопирит CuFeS_2 → халькантит $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (вынос с образованием самородной меди (Cu), вторичных сульфидов, оксидов, карбонатов и силикатов меди: Cu_2O (куприт), CuO (тенорит), Cu_2S (халькозин), CuS (ковеллин), $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ (малахит), $\text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2$ (азурит), $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (хризоколла);

аннабергит $\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$; эритрин $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$; вульфенит $\text{Pb}(\text{MoO}_4)$ и ванадинит $(\text{Pb}_5\text{Cl}(\text{VO}_4)_3)$ концентрируются в зоне окисления свинцовых руд, сложенных англезитом и церусситом

Образование вторичного халькозина:

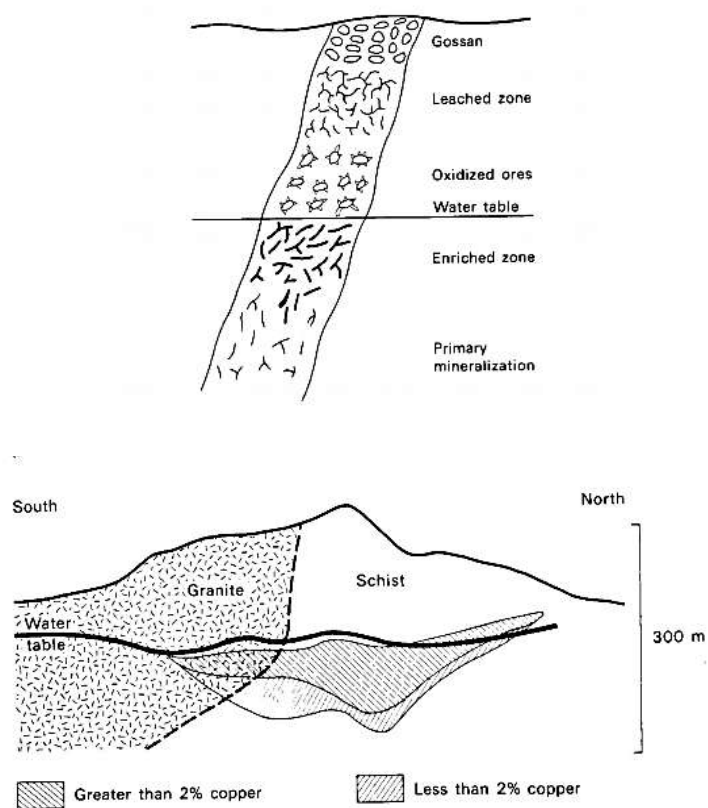
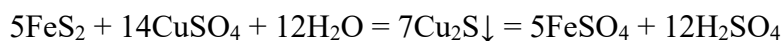


Рис. 18.10. Вверху: генерализованный разрез через сульфидную жилу, показывающий формирование зоны вторичного сульфидного обогащения (Modified from Bateman, 1950). Внизу: поперечный разрез рудного тела Инспирэйшен, Аризона, показывающий положение зоны вторичного сульфидного обогащения

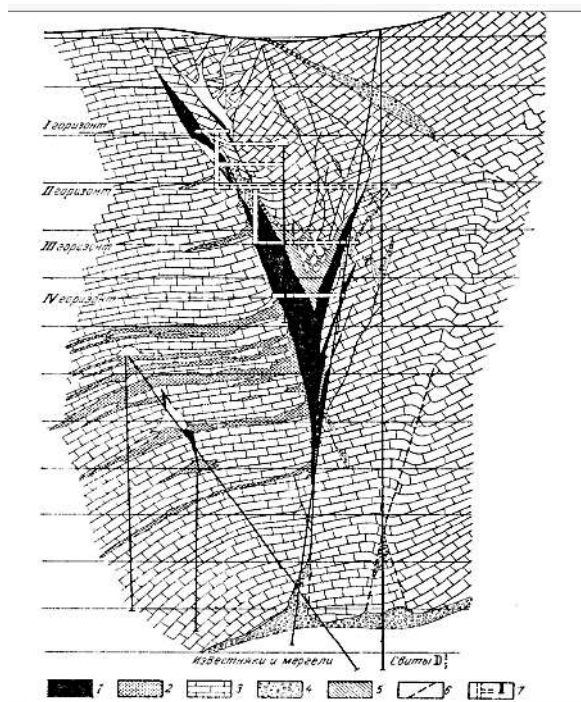


Рис. 18.11. Соотношение залежей вторичных свинцовых и цинковых руд на месторождении Турлан (по И.Князеву) Руды: 1 – церусситовые $PbCO_3$ 2 – смитсонитовые $ZnCO_3$ 3 – известняки и доломиты 4 – брекчии 5 – глины 6 – тектонические нарушения 7 – горные выработки и скважины

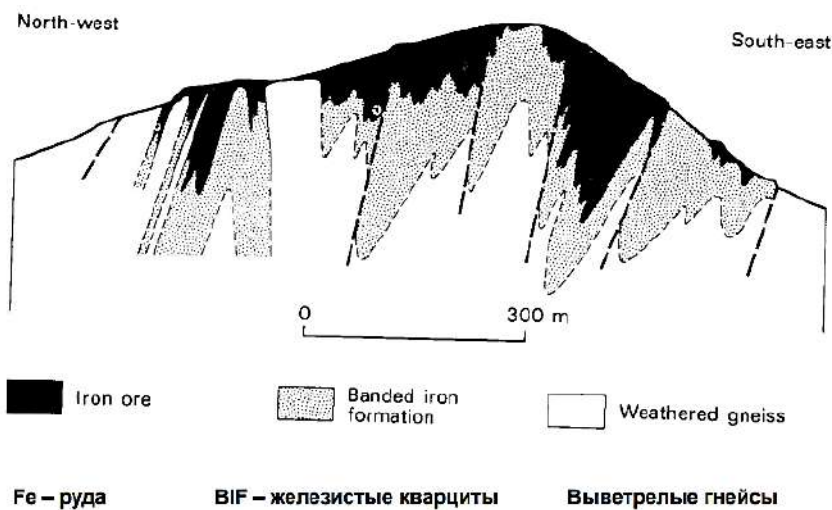


Рис. 18.12. Поперечный разрез железорудного месторождения Серро Боливар, Венесуэла (After Rucknick, 1963)

Механические изменения тел полезных ископаемых у их выходов на земную поверхность: изменение элементов залегания, уменьшение и увеличение их мощности.

Изменение элементов залегания тел полезных ископаемых может произойти на склонах долин, особенно в горных условиях, при которых пластовые, жильные и прочие плоские залежи у их выхода на поверхность земли способны изгибаться вниз по склону.

Уменьшение мощности связано с выщелачиванием растворимого материала из верхней части тела полезных ископаемых и сближением пород висячего бока с породами лежащего бока.

Увеличение мощности тел полезных ископаемых близ поверхности земли может произойти за счет увеличения объема вещества полезного ископаемого при его окислении. Так, например, при замещении первичного мышьякового минерала арсенопирита (FeAsS) вторичным скородитом ($\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) объем рудной массы увеличивается в 2,5 раза. При этом избыток материала выжимается из рудной полости и, расплзаясь по склону, создает гипертрофированное представление о размерах рудной залежи.

Лекция 19

Метаморфогенные месторождения полезных ископаемых

Серия метаморфогенных месторождений разделяется на две группы: метаморфизованных и метаморфических образований.

Метаморфизованные месторождения подверглись изменению одновременно с окружающими их породами в такой степени, что метаморфические признаки в форме, строении и составе тел полезных ископаемых оказываются резко доминирующими. К ним принадлежат значительные месторождения Fe, Mn, а также некоторые месторождения фосфоритов, цветных и благородных металлов.

Метаморфические месторождения возникли вновь в процессе метаморфизма в связи с перегруппировкой минерального вещества метаморфизируемых пород. Это месторождения мрамора, кварцита, кровельных сланцев, высокоглиноземистого сырья (кианит, дистен, силлиманит – Al_2SiO_5 , некоторые месторождения флогопита, нефрита, амфибол-асбеста, лазурита, графита, корунда и наждака, гранатов, титана, горного хрусталя.

Метаморфизм

«**Метаморфизм** – изменение минерального состава и структуры твердых горных пород в соответствии с физическими и химическими условиями, существующими на глубине, ниже зон выветривания и цементации; эти условия отличаются от условий, при которых породы предположительно образовались» (Turner, Verhoogen, 1960)

Локальный метаморфизм – автометаморфизм, ореольный (контактовый) метаморфизм, динамометаморфизм вдоль тектонических зон.

Региональный метаморфизм, вызванный повышением T и P, называется прямым или прогрессивным; он способствует реакциям с выделением из минералов воды и углекислоты. Метаморфизм, связанный со сменой высокотемпературных минеральных ассоциаций низкотемпературными, способствующий обратному поглощению воды и углекислоты, называется обратным или регрессивным.

Изохимический метаморфизм осуществляется без привноса новых минералообразующих веществ; он свойственен прогрессивной стадии.

Аллохимический метаморфизм происходит с привносом новых веществ и изменением химического состава метаморфизируемых пород; он особенно характерен для регрессивной стадии.

Роль воды при метаморфизме



При метаморфизме участвует вода:

- порового пространства неметаморфизованных пород;
- связанная в минералах-гидратах;
- поступающая в зоны низких ступеней из зон высоких ступеней метаморфизма;
- магматического происхождения (ювенильная).

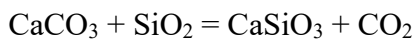
Функции воды при метаморфизме:

- пары воды обуславливают высокое давление;
- понижает температуру метаморфических преобразований;
- многократно ускоряет ход преобразований;
- увеличивает кристаллизационную способность минералов в - метаморфических процессах;
- активно растворяет химические соединения, участвующие в метаморфических реакциях, обеспечивая избирательный вынос и переотложение части из них.

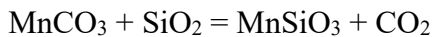
CO₂

Парциальное давление углекислоты увеличивается с глубиной за счет разложения соответствующих минералов (карбонатов).

Это приводит к тому, что по мере увеличения степени метаморфизма карбонаты постепенно вытесняются силикатами кальция, магния и железа:



кальцит кремнезем волластонит углекислота



родохрозит кремнезем родонит углекислота

Фации метаморфизма

Фации контактового метаморфизма (высокая температура, низкая нагрузка пород, изменчивое давление газовой фазы)

В порядке повышающейся температуры:

- альбит-эпидот-роговиковая фация;
- роговообманково-роговиковая фация;
- пироксен-роговиковая фация;
- санидинитовая фация.

Фации регионального метаморфизма (высокие температура, нагрузка пород и давление газовой фазы)

В порядке повышающейся температуры:

- цеолитовая фация (100-350°C, до 300 МПа);
- зеленосланцевая фация (300-550°C, 200-500 МПа);
- глаукофановая фация (350-600°C, 400-600 МПа);
- амфиболитовая фация (600-800°C, 400-600 МПа);
- гранулитовая фация (700-1000 °C, 600-900 МПа);
- эклогитовая фация (600-800 °C, 800-1200 МПа).

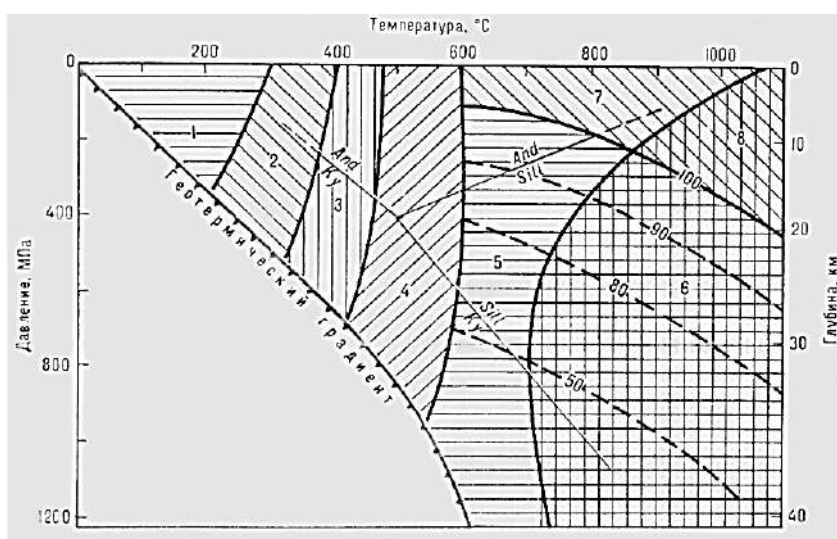


Рис. 19.1. Схема минеральных фаций метаморфических горных пород (по А.А. Маракушеву)

Группа кианита (дистена) – Al_2SiO_5 (полиморфные превращения при увеличении давления: сначала образуется силлиманит или андалузит, затем -кианит)

В эту группу входят два островных силиката разной структуры:

- кианит (дистен) – $Al_2(SiO_4)O$
- андалузит – $AlAl(SiO_4)O$ и
- цепочечный алюмосиликат силлиманит – $Al(AlSiO_5)$.

По А.Г. Булаху(1999):

В кианите весь алюминий располагается в кислородных октаэдрах, **в андалузите** половина его находится в необычном (пятерном) окружении, а **в силлиманите** половина алюминия размещается в тетраэдрах.

Образуются метаморфическим путем за счет преобразования при возрастании давления и температуры богатых глиноземом, например, слюдяных (мусковитовых), кристаллических сланцев по реакциям типа:

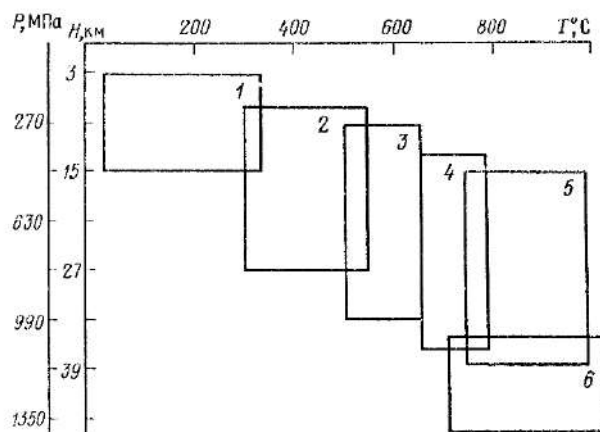
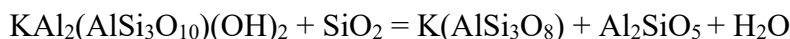


Рис. 19.2. Физические условия возникновения метаморфических фаций (по данным П. Эсколы, Н. Елисеева, В. Соболева, Ф. Тернера, Дж. Ферхугена и др.). Фации: 1 – цеолитовая, 2 – зеленосланцевая, 3 – амфиболитовая, 4 – глаукофановая, 5 – гранулитовая, 6 – эклогитовая.

Изменения в результате метаморфизма

В результате метаморфизма изменяются:

- форма (морфология) тел полезных ископаемых
- текстура вещества в телах полезных ископаемых;
- структура минеральной массы;
- минеральный состав:

- гидроксиды переходят в оксиды:

- лимонит → гематит → магнетит
- псиломелан, манганит → браунит, гаусманит
- опал → кварц

- менее плотные модификации минералов переходят в более плотные:

- марказит (ромб.) → пирит (куб.)
- вюрцит (гекс., триг.) → сфалерит (куб.)
- фосфорит (горная порода) → апатит

- сменяются минеральные ассоциации:

- (ser, chl, py)→(bt, po)→(mt)→(bt,gr)

- возникают структуры распада:

- «sp-bn» «sp-sp» «gl-ks»

- превращения:

- полевои шпат ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) → андалузит ($Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) → корунд (Al_2O_3)
- уголь → графит;
- известняк → мрамор;
- водные силикаты Al в глинистых сланцах → простые силикаты (кианит, силлиманит, андалузит)

Таблица 19.1. Метаморфогенные месторождения в фациях регионального метаморфизма

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



Рис. 19.3. Плойчатая текстура железных руд железистых кварцитов. Сложно смятые слои представлены кварцем (светлое) и магнетитом (серое и черное)

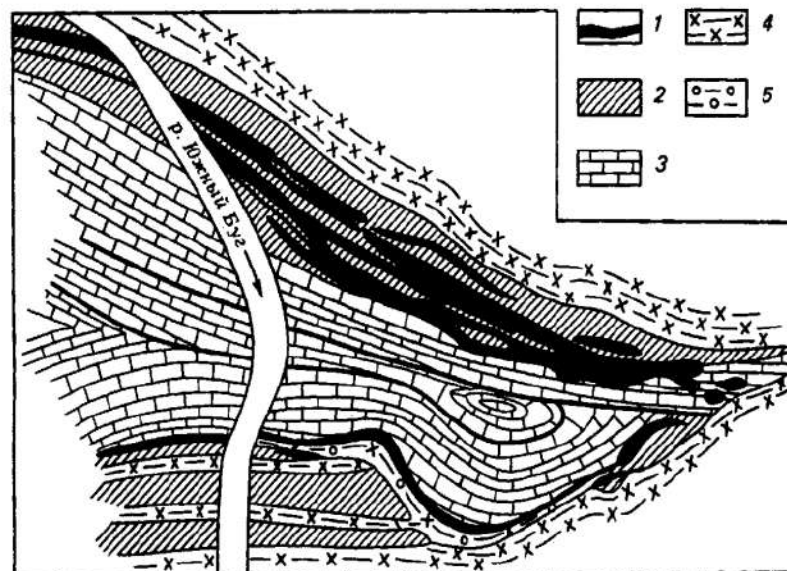


Рис. 19.4. Геологическая карта Завальевского месторождения чешуйчатого графита (по А.Е. Иванищеву). 1 – графитовые гнейсы; 2 – гнейсы безрудные; 3 – кристаллические известняки; 4 – граниты; 5 – мигматиты

Генетически месторождение (Рис. 19.4) рассматривается подавляющим большинством исследователей метаморфическим, образовавшимся в процессе регионального метаморфизма первично-осадочных алюмосиликатных пород, содержащих в составе рассеянное углеродное вещество.

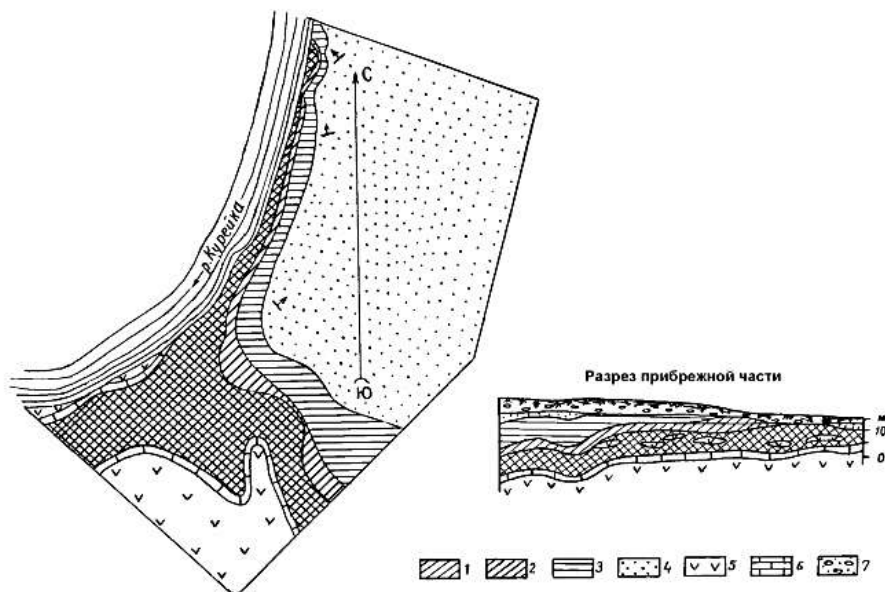


Рис. 19.5. Геологическая карта и разрез Курейского месторождения скрытокристаллического (аморфного) графита (по материалам С.В. Обручева, В.П. Солоненко и др.). 1 – графит; 2 – графитовые сланцы; 3 – кварцитовидные песчаники и сланцы; 4 – серые песчаники; 5 – траппы; 6 – мраморовидный кальцит; 7 – террасовые отложения

Считается, что графитовая залежь (Рис. 19.5) является продуктом термального метаморфизма каменноугольного пласта под воздействием низелегающего диабазового силла большой мощности, обусловившего длительное время прогрева. Температура прогрева оценивается в диапазоне 1250 -700 гр. С.



Рис. 19.6. Шокинское месторождение кварцитов в Карелии (Неметаллические полезные ископаемые СССР). 1 – диабазы; шокинская свита: 2 – красные песчаники, кварциты; 3 – малиновые; 4 – красные; 5 – розовые; 6 – хлорит-серицитовые сланцы; 7 – серые песчаники; 8 – забои действующих карьеров

Мощность кварцитов 41 м (Рис. 19.6), причем на долю малиновых разновидностей приходится 17 м, а вышележащих красных песчаников – 40 м. Основную промышленную ценность представляют красные и особенно малиновые кварциты, получившие наименование «шокшинские порфиры». Месторождение образовалось в результате метаморфизма первично осадочных песчаных отложений с уплотнением породы и переходом железных охр в пластинки гематита, обусловивших неповторимые окраски «шокшинского порфира».

Регенерированные месторождения

При **переотложении** седиментогенных или магматогенных (по составу обычно оксидных или сульфидных) руд существовавших прежде рудных залежей образуются так называемые **регенерированные месторождения**, а сам процесс перевода металлов в подвижное состояние и миграции с последующим повторным их отложением называют **ремобилизацией**.

Эти месторождения являются производными региональнометаморфических процессов (отдельные золотокварцевые и сульфидные жилы, баритовые, сидеритовые залежи и др.), реже связаны с внедрением крупных магматических тел (сульфидные, золотокварцевые жилы и др.).

Рудные залежи («ремобилизаты») отлагались на продолжении по восстанию крупных тектонических зон, над апикальными частями интрузивов, на некотором удалении от их контактов, иногда в их эндоконтактных зонах, а также в краевых участках крупных зон смятия.

Такие (регенерированные) месторождения рядом исследователей называются **гидротермально-метаморфическими** и рассматриваются (И.В. Викентьев и др.) наряду с **метаморфическими** и **метаморфизованными** образованиями в составе метаморфогенной серии.

Техногенная серия месторождений полезных ископаемых

Техногенно-минеральное сырье – значительный, все возрастающий резерв минерально-сырьевой базы страны

Техногенно-минеральные месторождения (как скопления ценных металлов и минералов) занимают значительные площади земельного фонда и являются источниками загрязнения окружающей среды.

Техногенные (техногенно-минеральные) месторождения

Последние десятилетия характеризуются гигантским ростом потребления энергетических и минеральных ресурсов: угля, нефти, газа, металлических и неметаллических полезных ископаемых. При этом создается большая масса отходов что заметно сказывается на экологическом состоянии ряда регионов. Эти отходы могут быть использованы как дополнительный источник минерального сырья.

Техногенное месторождение - это скопление минеральных веществ, образующихся в результате складирования отходов добычи полезных ископаемых, обогатительного, металлургического, энергетического, химического и других производств, качество и количество которых позволяют осуществить их добычу и переработку на рациональной экономической основе.

Техногенные месторождения служат предметом специального изучения не только в силу потребительских свойств заключенного в них минерального (техногенного) сырья, но и из-за необходимости их ликвидации как мощного источника загрязнения окружающей среды, а также освобождения достаточно ограниченного земельного фонда.

Техногенная серия месторождений полезных ископаемых

В настоящее время, учитывая появление техногенных (техногенноминеральных) месторождений, генетическую классификацию месторождений полезных ископаемых, включающую магматогенную, седиментогенную и метаморфогенную серии (В.И. Смирнов), следует пополнить четвертой, техногенной серией.

Эта серия объединяет группы техногенных месторождений - как результаты накопления отходов горнодобывающего, металлургического, топливно-энергетического и химического производств.

Названные группы могут подразделяться на классы и более дробные таксонометрические единицы. Так, техногенные месторождения горнодобывающего производства представляют собой складированные отвалы горных предприятий (породы вскрыши, вмещающие породы, забалансовые руды) и отходы обогащения (шламо- и хвостохранилища); шламоотвалы металлургического производства резко различны у предприятий черной и цветной металлургии и т.д.

ТМ «Отвалы Аллареченского месторождения» (по С.Г.Селезневу, 2013)

«Аллареченское месторождение сульфидных медно-никелевых руд отработывалось открытым способом с 1960 по 1971 год. Эксплуатация месторождения строилась из приоритета добычи богатых разновидностей руд со средним содержанием никеля более 4%, пригодных для пирометаллургической переработки в цехах комбината «Печенганикель» без дополнительного обогащения. Некондиционные руды и руды некондиционных прослоев, а также руды неучтенные разведкой, но вскрытые при отработке многочисленных опережающих ответвлений, обособленных жил и прожилков удалялись в отвал, где складировались совместно со вскрышными и вмещающими породами. В отвалах было складировано не менее 5-6 тыс. тонн никеля и не менее 2,3-2,8 тыс. тонн меди.

Общая площадь подошвы отвала 33,29 га, объем его пород – около 6700 тыс. куб. м. Условно отвал можно разбить на два яруса – нижний, относительно безрудный, и верхний, включающий систему всех вышележащих ярусов. ... Распределение обломков

руд и рудосодержащих пород в отвале хаотичное, и определяется статистически по среднему (средневзвешенному) содержанию полезных компонентов.

На стадии ревизионно- оценочных работ ... были подсчитаны прогнозные запасы и ресурсы отвалов в объеме 298 тыс. т руды со средним содержанием Ni – 1,57%, Cu – 1,34%, Co – 0,029%. При этом запасы полезных компонентов составили: Ni – 4695 т, Cu – 3997 т, Co – 88 т, что коррелируется с расчетными данными.

На следующем этапе была проведена разведка отвалов.... Было завершено ... комплексное исследование руд, выбрана и обоснована технология извлечения руд из горной массы отвалов ... Отчет о разведочных работах прошел Государственную экспертизу, подсчитанные запасы приняты на государственный баланс. Участку «Отвалы Аллареченского месторождения» присвоено название техногенное месторождение (ТМ) «Отвалы Аллареченского месторождения». Объект разрабатывается с конца 2012 г.»

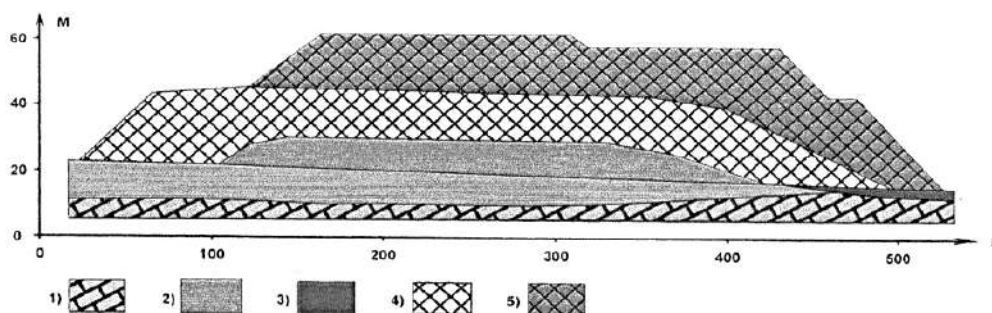


Рис. 19.7. Схематический разрез техногенного месторождения (ТМ) «Отвалы Аллареченского месторождения» (по С.Г.Селезеву, 2013). 1 – коренные скальные породы; 2 – рыхлые песчано-глыбовые четвертичные отложения; 3 – заболоченная почва; 4 – вскрышные, преимущественно безрудные породы (гнейсы, гранито-гнейсы, амфиболиты); 5 – вскрышные породы и в разной степени оруденелые вмещающие породы (перидотиты, оливиниты, контактовые амфиболиты и др.) концентрируют в себе наибольшую часть забалансовых руд и балансовых руд – из числа потерь и некондиционных прослоев

Лекция 20

Основные (мировые) геологопромышленные типы месторождений полезных ископаемых

Разнообразие условий образования, свойственное многим (если не большинству) полезным ископаемым и, соответственно, их месторождениям, предопределяет множественность генетических типов последних. Так, промышленные месторождения железа представлены целым рядом генетических типов в составе магматогенной, седиментогенной и метаморфогенной серий генетической классификации, предложенной В.И. Смирновым.

Среди этого генетического множества месторождений полезного ископаемого лишь отдельные, немногие его типы заключают основную массу (большую часть) его запасов и, как правило, его добычи; эти типы составляют основу его минерально-сырьевой базы, именуясь главнейшими (основными, мировыми) геолого-промышленными типами.

Так, например, для железа такими типами являются метаморфогенный железистых кварцитов, магматический титаномагнетитовый, скарновый магнетитовый и осадочный морской; на них приходится свыше 99% общих мировых запасов и более 94% мировой добычи этого металла.

Металлические полезные ископаемые

1. Черные металлы (Fe, Mn, Cr, V, Ti)
2. Легирующие металлы (Ni, Co, W, Mo, etc.) 1, 2 – Iron and ferroalloy metals
3. Цветные металлы (легкие: Mg, Al; тяжелые: Cu, Pb, Zn, Sb, Sn, Hg) 3 – Non-ferrous metals, причем Cu, Pb, Zn, Sn – base metals
4. Благородные металлы (Au, Ag, PGM: Pt, Pd, Os, Ir, Ru, Rh) 4 – Precious (noble) metals
5. Радиоактивные металлы (U, Ra, Th) 5 – Fissionable metals
6. Редкие и рассеян. металлы (Bi, Zr, Nb, Ta, Ga, Ge, Cd, In)
7. Редкоземельные металлы (La, Ce, Yb, Pm, Sm, Lu, etc.) 6, 7 – Minor metals and related nonmetals

Неметаллические полезные ископаемые

1. **Агрохимическое сырье** (S, P, K, Cl, B, F, Na, Mg) Горные породы, из которых извлекают указанные **химические элементы** и их соединения, то-есть это самородная сера, соли, апатиты, фосфориты и др.
2. **Индустриальное (техническое) сырье**

Минералы, обладающие ценными промышленными свойствами: графит, асбест, слюда, тальк, флюорит, барит, цеолиты и др.

3. Пьезооптическое и камнесамоцветное сырье

Кристаллы и их агрегаты: пьезокварц, оптический кварц, оптический флюорит, исландский шпат и др; драгоценные и поделочные камни.

4. **Горные породы** как естественные **стройматериалы** и как сырье для их производства: пески, глины, граниты, базальты, известняки, доломиты, опоки, шунгиты, кварциты, амфиболиты и др. осадочные, магматические и метаморфические породы.

Черные металлы

Черные металлы (Fe, Mn, Cr, V, Ti). Ведущую роль в этой группе играет железо, составляющий основу черной металлургии; марганец, хром и ванадий в основном используются для производства легированных сталей; большая часть титана идет на производство пигментного диоксида.

Железо (Fe)

Наряду с алюминием является самым распространенным металлом в земной коре (весовой кларк 5,10%); это основной конструкционный материал в промышленности.

Минеральные типы руд:

1. магнетитовый (магнитные железняки), полумартитовые и мартитовые (псевдоморфозы гематита по магнетиту); до 60-65% Fe;
2. титномагнетитовые; до 55% Fe и до 20% TiO₂;
3. гематитовые и гидрогематитовые (красные железняки); до 65% Fe;
4. гидрогетитовые (бурые железняки); до 50% Fe;
5. сидеритовые (карбонатные); в среднем 30-35% Fe;
6. железисто-хлоритовые (шамозит-тюрингитовые или силикатные); в среднем 25-40% Fe.

Качество руд:

1. бедные (требуют обогащения);
 2. богатые (содержание Fe свыше 55-60%); могут идти в плавку без обогащения;
- * основные вредные компоненты: S, P, As, Sn, Zn, Pb.

Обогащение:

1. (дробление - грохочение – промывка – отсадка – сепарация)
2. агломерация (спекание)

3. окомкование и пеллетирование (производство окатышей)

Продукты металлургического передела:

1. железо (0,04 – 0,2% C)
2. сталь (0,2 – 1,5% C)
3. чугун (2,5 – более 4% C)

Генетические типы месторождений:

1. магматический (tmt, ilm-tmt) – Качканарское, Гусевогорское, Телнесс;
2. карбонатитовый (tmt, mt) – Африканда, Ковдор, Лле-Коп;
3. скарновый (mt, hm) – Гороблагодатское, Таежное, Сарбайское, Гора Магнитная;
4. вулканогенный гидротермальный (mgmt, hm) – Коршуновское;
5. вулканогенно-осадочный (hm, mt, редко sd) – Каражал, Холзунское;
6. кор выветривания (hm, hhm) – Елизаветинское, Аккермановское;
7. осадочный морской (sd, hm, hhm, lcl) – Керченские, Лотарингские;
8. осадочный континентальный (hhm, sd, lcl) – Лисаковское;
9. метаморфогенные (mt, hm) – КМА, Кривой Рог, Оленегорское, оз. Верхнее, штат МинасЖераис, Хамерсли, Аньшаньская группа. * подчеркнуты главнейшие геолого-промышленные типы.

Группировка месторождений по разведанным запасам:

1. уникальные (разведанные запасы руды более 1 млрд. т);
2. крупные (разведанные запасы руды от 300 млн. т до 1 млрд. т);
3. средние (разведанные запасы руды от 50 млн. т до 300 млн. т);
4. мелкие (разведанные запасы руды до 50 млн. т).

Примеры месторождений

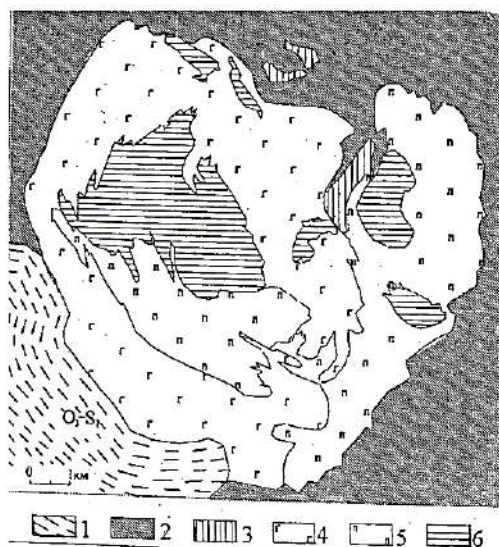


Рис. 20.1. Схематическая геологическая карта Качканарского массива на Урале (по О.К. Иванову) 1 – зеленые сланцы; 2 – пироксен-плагиоклазовые роговики; 3 – горнблендиты; 4 – габброиды; 5 – клинопироксениты; 6 – магнетитовые клинопироксениты

Рудоносный Качканарский габбро-пироксенитовый плутон (Рис. 20.1) (Гусевогорское и собственно Качканарское титаномагнетитовые месторождения) имеет изометричную форму площадью ок. 110 кв. км Рудные тела образованы вкрапленностью титаномагнетита, реже шпировыми выделениями и прожилками массивных руд в основном в пироксенитах, габбро и горнблендитах. Текстуры руд от крупно- до тонко зернистых вкрапленные. Ильменит (2-8%) Фиксируется в структурах распада твердых растворов. Попутный компонент – ванадий (помимо чугуна получают из конверторных шлаков) Fe (ср. сод. в рудах 16,6%) – Ti – V).

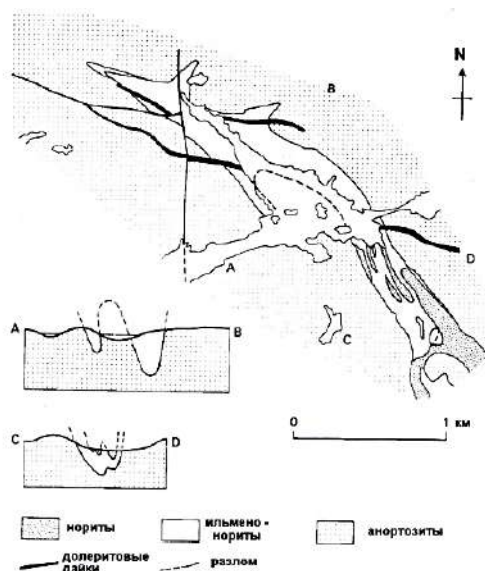


Рис. 20.2. Карта и разрез месторождения титана Теллес в Норвегии (по Дибдахлу, 1960)

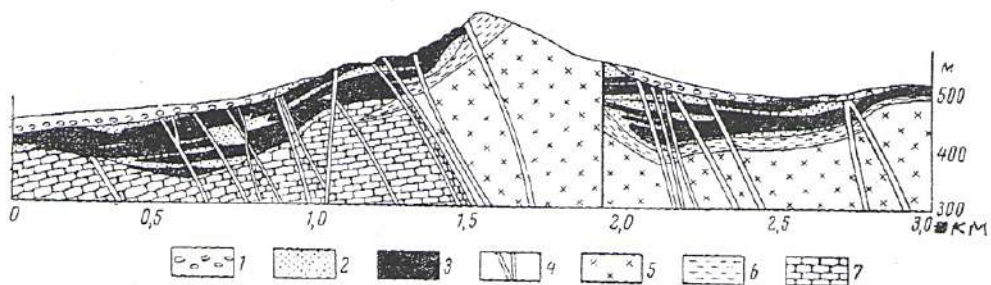


Рис. 20.3. Пастообразная залежь рудоносных скарнов Горы Магнитной (по А.Н. Заварицкому). 1 – делювий с рудными валунами; 2 – скарны; 3 – рудные участки скарна; 4 – жилы диоритов и порфиров; 5 – порфириты; 6 – контактово- метаморфизованные туфы; 7 – известняки

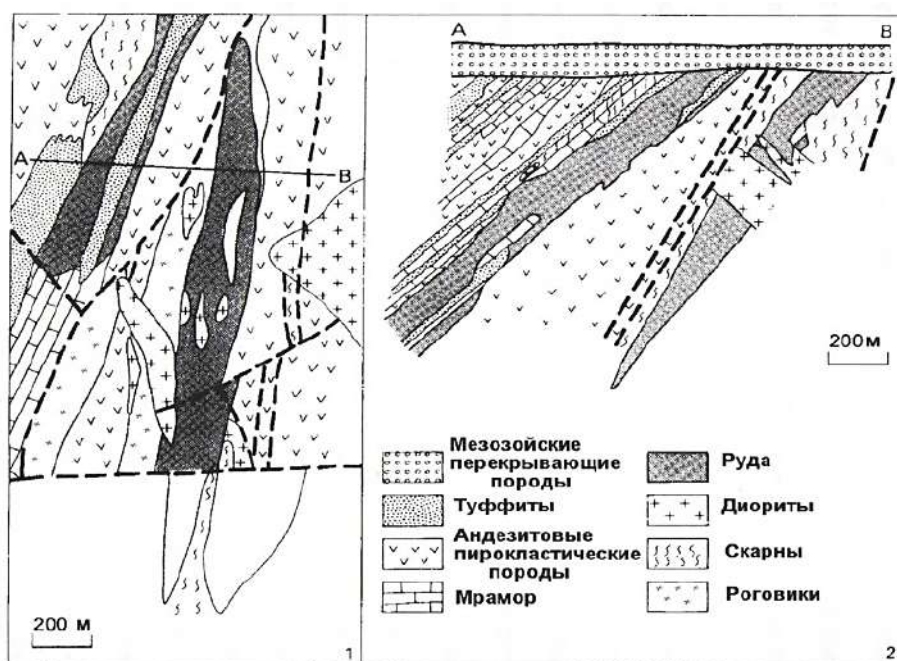


Рис. 20.4. Сарбайское скрановое месторождение железа (Казахстан). 1-план горизонта 80; 2- разрез (по Соколову и Григорьеву, 1977)

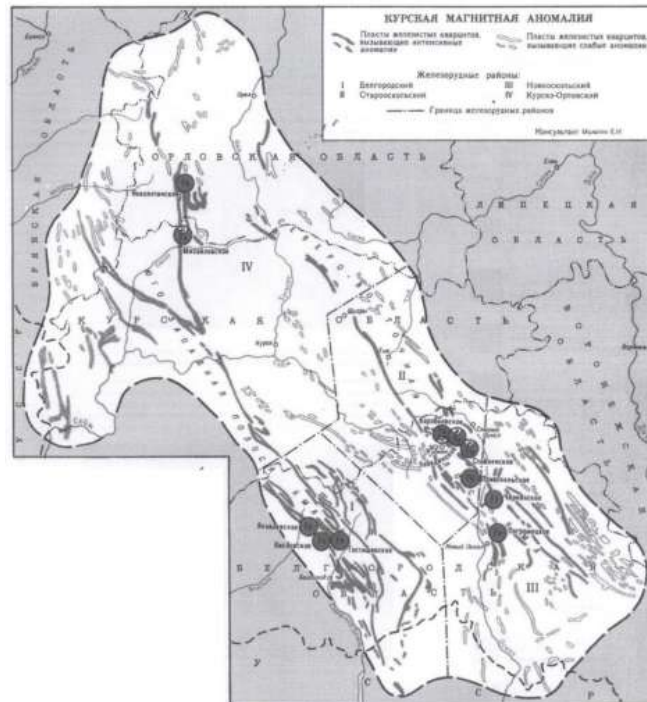


Рис. 20.5. Курская магнитная аномалия

Протяженность с ЮВ на СЗ – около 600 км. Ширина – 150-250 км Площадь ~ 120000 кв.км Ср.сод. Fe в железистых кварцитах (mt-hm-Q) ~ 32-37%, в богатых Fe-рудах ~ 66% Запасы (1984) богатых Fe-руд до гл. 1200 м: разведанные – более 25 млрд. т; предварит. оцененные – более 30 млрд. т. Мощность платформ. чехла: от 40-450 м на СЗ (Орел, Курск) до 500-700 на ЮВ (Белгород)

Марганец (Mn)

достаточно распространенный металл в земной коре (вестовой кларк 0,1%); основная область использования – черная металлургия (легирующая добавка в стали, раскислитель и обессериватель металла, разжижитель шлаков); другие области – сплавы с цветными металлами, антикоррозийные покрытия, производство сухих батарей, стекла, керамики, медицина и др.

Минеральные типы руд:

1. оксидные и гидроксидные (пирролюзит, браунит, гаусманит, криптомелан, биксбит, псиломелан; манганит, нсутит, вернадит, тодорокит);
2. карбонатные (родохрозит, манганокальцит, манганосидерит);
3. силикатные (родонит, спессартин);
4. смешанные (оксидно-карбонатные, оксидно-силикатные, карбонатно-силикатные, оксидно-карбонатно-силикатные);

Качество руд:

в металлургии используются руды с содержанием 30-36% Mn и менее 0,2% P; богатые оксидные руды – 48-50% Mn; кондиционные содержания для легко обогатимых руд – более 10% Mn, для трудно обогатимых – более 20% Mn.

Продукты металлургического передела:

электротермическим, электролитическим, гидрометаллургическим и другими способами из руд получают металлический марганец (99,7% Mn) и его сплавы: ферромарганец (72-80% Mn, до 7,5% C и Fe) и силикомарганец (65-75% Mn, 14-25% SiO₂).

Генетические типы месторождений:

1. осадочный (оксидные, карбонатные, и оксидно-карбонатные руды) – Никопольское и Большетокмакское, Чиатурское, рудное поле Куруман (ЮАР);
2. вулканогенно-осадочный (железо-марганцевые оксидные руды) – Атасуйские месторождения Зап. Каражал и др., Джебдинское, месторождения Кузнецкого Алатау;
3. кор выветривания (оксидные руды по Mn-содержащим метаморфизованным силикатным и карбонатным породам) – месторождения Индии, Бразилии, Габона, Ганы, ЮАР, Австралии и др. стран;
4. метаморфогенный (связаны с Mn-содержащими протерозойскими силикатными породами - гондитами и кодуритами (гондиты: кварц, спессартин, браунит, гаусманит, родонит; кодуриты: КПШ, спессартин, апатит) – месторождения Индии и Бразилии;
5. железо-марганцевые конкреции на дне океанов (гидроксиды и оксиды железа и марганца: вернадит, гидрогетит, тодорокит, пиролюзит, бернессит, раньсеит, криптомелан) – опытно-промышленная добыча на ряде участков с концентрацией конкреций 10-20 кг/м². * подчеркнуты главнейшие геолого-промышленные типы.

Группировка месторождений по разведанным запасам:

1. уникальные (разведанные запасы руды более 1 млрд. т);
2. крупные (разведанные запасы руды – сотни млн. т);
- 3-4 средние и мелкие (разведанные запасы руды – десятки млн. т).

Примеры месторождений

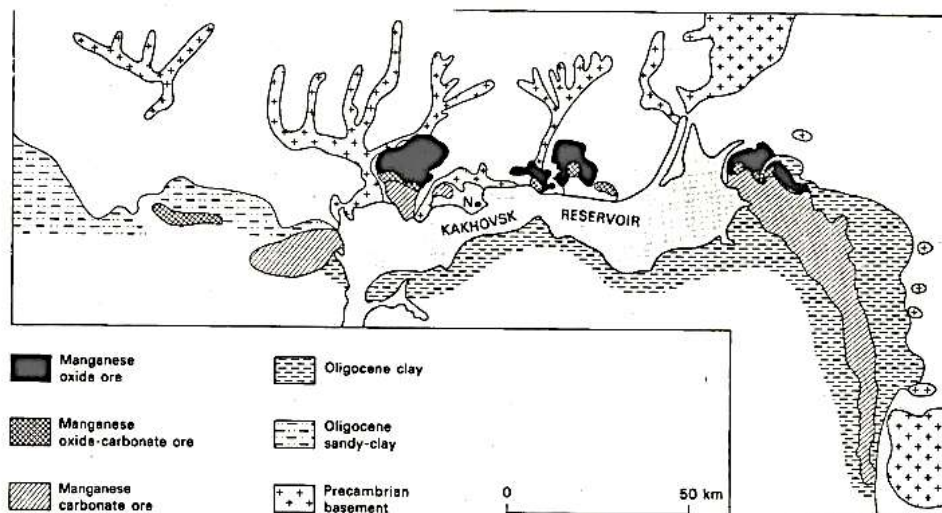


Рис. 20.6. Распределение марганцевых руд в Южно-Украинском бассейне (По Варенцову и Рахманову, 1977) (Северная и восточная части карты с выходами докембрийского фундамента большей частью перекрыты четвертичными осадками; N – Никополь)

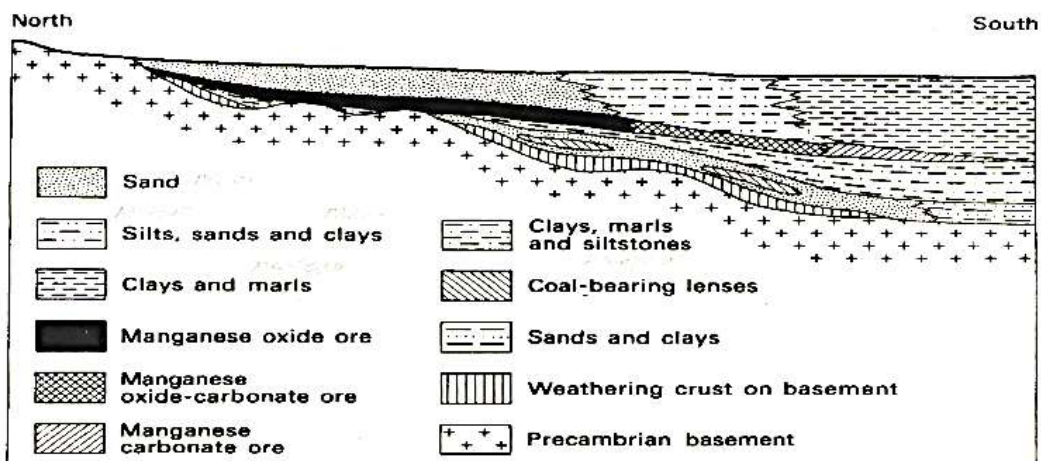


Рис. 20.7. Схематизированный поперечный разрез через Никопольское марганцевое месторождение, демонстрирующий зонность марганцевых руд и трансгрессивное залегание осадочных пород, перекрывающих докембрийский фундамент Восточно-Европейской платформы (По Варенцову, 1954)

Остаточные месторождения марганца возникают при выветривании разных горных пород, содержащих карбонаты, силикаты и безводные оксиды марганца. Они преобразуются в гидроксиды четырехвалентного марганца (вернадит, псиломелан, трансформирующиеся в пиролюзит – MnO_2), устойчивые в коре выветривания. При этом из пород, содержащих марганец в количестве десятые доли – первые %, формируются крупные остаточные месторождения с содержанием марганца в десятки %.

известны на Кубе, в Индии, Южной Африке (Габон, Гана), Бразилии, Австралии и др. странах.

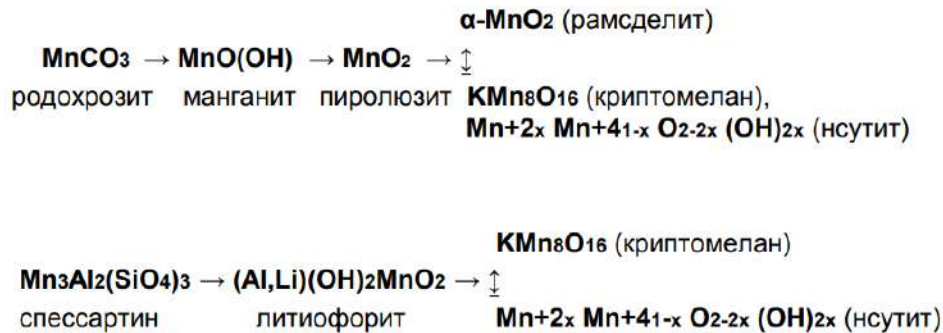


Рис. 20.8. Остаточные месторождения марганца

Хром (Cr)

Кларк в земной коре – 0,0083% (в ультраосновных породах – 0,2%, в основных – 0,02%); основная область использования – легирующая добавка в производстве специальных сталей и производстве сплавов с Ni, Co, Al, Mo и др. металлами; производство огнеупоров; химическая промышленность.

Минеральные типы руд:

1. магнохромитовый – $(\text{Mg,Fe})\text{Cr}_2\text{O}_4$
2. 2 хромпикотитовый – $(\text{Mg,Fe})(\text{Al,Cr})_2\text{O}_4$ и алюмохромитовый – $(\text{Fe,Mg})(\text{Al,Cr})_2\text{O}_4$ изоморфный ряд: шпинель (MgAl_2O_4) – герцинит (FeAl_2O_4)

Качество руд:

в металлургии используют руды с содержанием Cr_2O_3 более 48%, S и P менее 1% и соотношением $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{FeO}$ более 3; в химической промышленности - с содержанием Cr_2O_3 более 44%, Fe_2O_3 менее 14%, SiO_2 менее 5%; в промышленности огнеупоров – с содержанием Cr_2O_3 более 32%, SiO_2 менее 6%, CaO менее 1%.

Продукты металлургического передела:

большая часть металлургических хромитов перерабатывается в феррохром (50-60% Cr, а также Fe и C); металлический хром получают электролитическим или алюмотермическим способами. :

Генетические типы месторождений:

1. раннемагматический (в базит-гипербазитовых расслоенных плутонах древних щитов) – месторождения Бушвелдского комплекса (ЮАР), Великой Дайки (Зимбабве), района Кеми, Камо-Формозу, Куттак;

2. позднемагматический (линзовидные залежи в массивах ультраосновных пород складчатых областей) – месторождения Кемпирсайского массива (Казахстан), Сарановское (Пермский край), месторождения Албании, Греции, Турции, Филиппин

3. латеритный, элювиально-делювиальный и прибрежно-морской россыпные – месторождения Индонезии, Вьетнама, Новой Каледонии, Австралии, Урала, Тихоокеанского побережья США, Адриатического побережья Албании, Средиземноморского – Турции.

Группировка месторождений по разведанным запасам:

1. уникальные (разведанные запасы руды в сотни млн. т);
2. крупные (разведанные запасы руды в десятки млн. т);
- 3-4 средние и мелкие (разведанные запасы руды в первые млн. т);

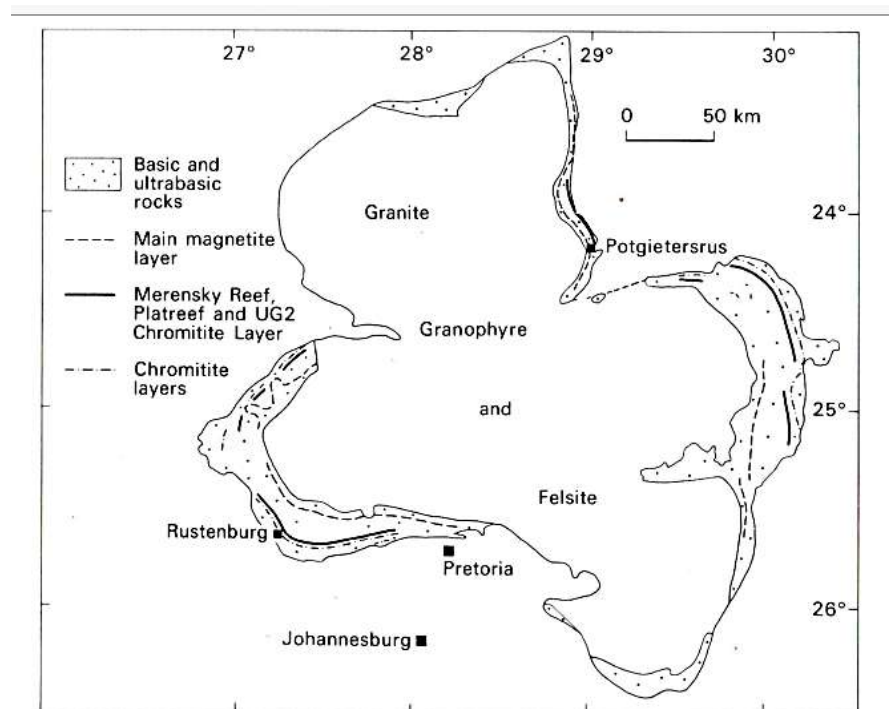


Рис. 20.9. Бушвелдский магматический комплекс в ЮАР (схематический план) (After van Gruenwaldt, 1977)

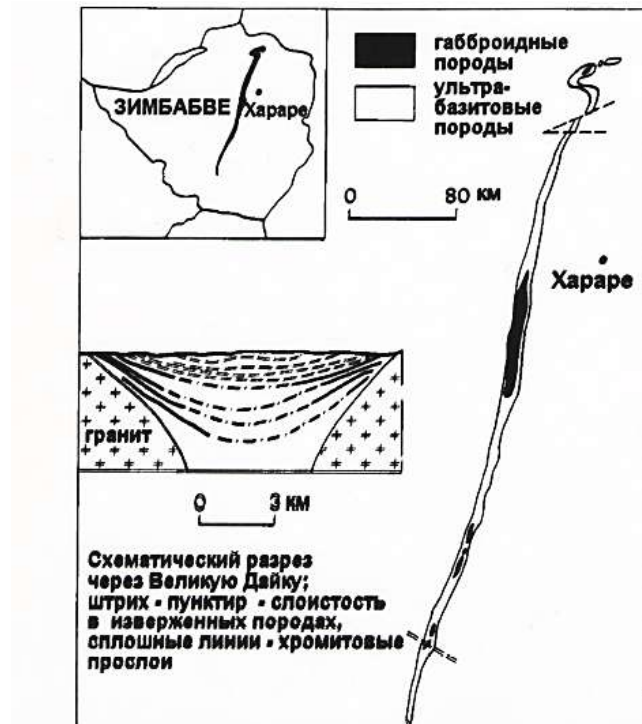


Рис. 20.10. Схематические разрезы по Великой Дайке (Зимбабве) с местоположением хромитовых прослоев (по Бичану, 1969)

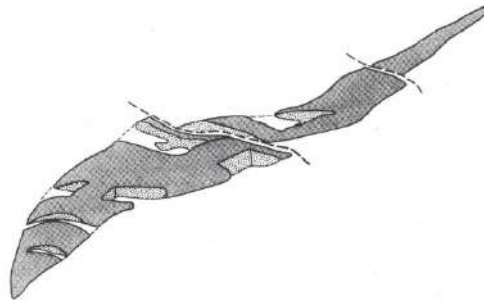


Рис. 20.11. Месторождение Молодёжное, Южный Урал

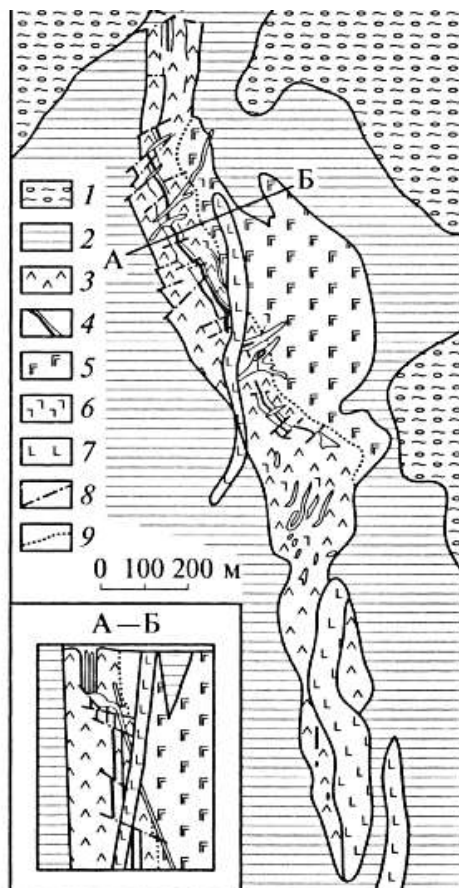


Рис. 20.12. Схематическая геологическая карта Северного Сарановского хромитоносного массива (по материалам Сарановской ГРП) 1 –делювиальные валунчато-глинистые отложения; 2 – сланцы кварц-серицитовые, кварц-серицитхлоритовые и др.; 3 – апоперидотитовые серпентиниты; 4 – хромитовые рудные тела; 5 – габбро-нориты; 6 – диабазы метаморфизованные; 7 – габбро-диабазы; 8 – тектонические нарушения; 9 – граница между перидотитами и габброноритами

Титан (Ti)

Кларк в земной коре – 0,45% (в основных породах – 0,9%, в средних – 0,8%); основные области использования: сплавы с ванадием и другими металлами – как высокопрочные конструкционные материалы во многих отраслях промышленности; карбид титана – для изготовления сверхтвердых сплавов; диоксид титана TiO_2 – для получения белил, пластмасс, в целлюлознобумажной промышленности.

Минеральные типы руд:

1. ильменитовые ($FeTiO_3$), ильменит-магнетитовые(Fe_3O_4), ильменит-титаномагнетитовые (прорастание магнетита ильменитом – распад твердого раствора);
2. рутиловые(TiO_2), рутил-ильменитовые;

3. лейкрксеновые (микрористаллический агрегат оксидов титана как продукт изменения ильменита).

Генетические типы месторождений (подчеркнуты главнейшие геолого-промышленные типы):

1. магматический (il-tmt, hm-il; приурочены к крупным массивам анортозитов) – Телнесс Норвегия) Тегаvus (США), Лак Тио (Канада), Отанемяки (Финляндия)

2. кор выветривания (il,rt; на габбро-анортозитах и метаморфических породах) - месторождения Волынского массива, Украинского щита, Кундыбаевское (Казахстан);

3. прибрежно-морские россыпи (il-rt-zr $ZrSiO_4$) – современные в Зап. Австралии, Индии, Шри-Ланке, Сьерра-Леоне, Бразилии, США; древние в Ставрополье, Зауралье, Приднепровье;

4. континентальные элювиально-аллювиальные россыпи (il) – Иршинское;

5. вулканогенно-осадочный (il) – Нижний Маммон;

6. метаморфогенные – метаморфизованный (il-zr, il-mt, lk) – Ярегское; и - метаморфический (rt) – Кузнечихинское, Шубинское, Хартворд и др.

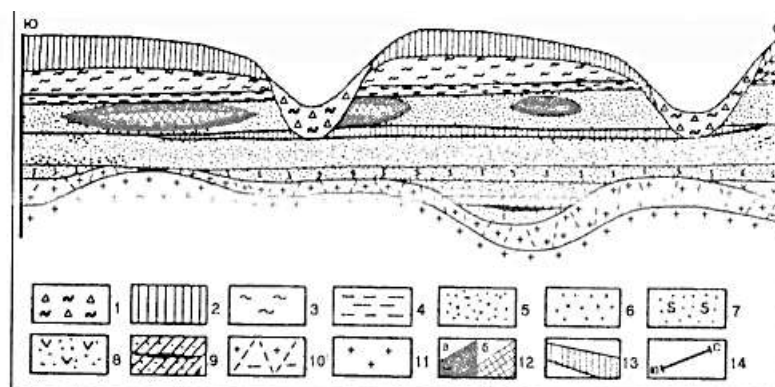


Рис. 20. 13. Малышевское россыпное цирконрутил-ильменитовое месторождение («Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины», том 1, 2005) Гор./верт. м-б= 10/1 1- аллювий; 2- покровные суглинки; 3 – красно-бурые глины; 4 – зел.-серые глины; 5 – пески м/з; 6 – т/з пески; 7 – глауконит-кварцевые пески; 8 – пески и мергели; 9 – пески, глины, бурые угли; 10 – кора выветривания; 11 – кристаллические породы; 12 – рудные залежи: а – богатые, б – бедные; 13 – рудный пласт полтавского возраста; 14 – линия разреза

Ванадий (V)

Кларк в земной коре – 0,009% (в габбро и базальтах – 0,02%; он также повышенный в глинистых породах; феррованадий (35-80% V, Fe) и его заменители (карван, сольван, ферован, нитрован) – легирующие добавки в черной металлургии (производство высокопрочных сталей); сплавы V с Ti, Ca, Ta, Nb, Zr, Ni, Co, Al, Mg – в машиностроении, самолетостроении, космической технике; ванадий – в химической

промышленности (крекинг нефти, производство кислот, красок, каучука), для окраски стекол и керамики, изготовление цветных пленок.

Минеральные формы нахождения ванадия в рудах:

1. примесь в магнетите (Fe_3O_4 , mt), ильмените (FeTiO_3 , il), рутиле (TiO_2 , rt); в них содержание V_2O_5 составляет 0,1-4,9%;

2. собственные минералы – ванадинит ($3\text{Pb}_3[\text{VO}_4]_2 \cdot \text{PbCl}_2$; vn; 11-19%), деклуазит ($\text{PbZn}[\text{VO}_4](\text{OH})$; dk; 16-23%), купродеклуазит ($\text{PbCuZn}[\text{VO}_4](\text{OH})$; kdk; 17-22%), карнотит ($\text{K}_2[\text{UO}_2]_2 \cdot [\text{VO}_4]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$; kt; 16-21%), роскоэлит ($\text{KV}_2(\text{OH})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$; rs; 9-29%), тьямунит ($\text{Ca}[\text{UO}_2]_2 \cdot [\text{VO}_4]_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; tm; 19%) и др.

Минеральные типы ванадийсодержащих руд:

1. титаномагнетитовые и ильменит-магнетитовые (сод. $\text{V}_2\text{O}_5 \sim 0,1-1,0\%$);
2. деклуазит-ванадинитовые зоны окисления сульфидов (сод. $\text{V}_2\text{O}_5 \sim$ до 5-6%);
3. карнотит-роскоэлитовые уран-ванадиевые (сод. V_2O_5 до 1,7%; сод. U_3O_8 до 0,3%)

Добыча и переработка руд:

1. открытая или подземная добыча → дробление, измельчение → обогащение (флотация, магнитная сепарация → дуплекс-процесс (доменная плавка и конвертор), после которого остается шлак, содержащий 10-16% V_2O_5 , → обжиг шлака с солями ванадия → техническая окись ванадия V_2O_5 → феррованадий (35-80% V, Fe); либо: :

2. обжиг исходного сырья с солями Na с последующим выщелачиванием вначале H_2O , затем разбавленной H_2SO_4 → осаждение из раствора V_2O_5 , из которого получают корван, солван, нитрован, феррованадий, содержащие 86% ванадия.

Генетические типы месторождений:

1. магматический (tmt, il-tmt, il-hm в ультрабазитах и базитах; 0,1-2% V_2O_5 - Гусевогорское (Качканар, Россия), Малакс (Бушвелд, ЮАР), Тегавус (США), Родсенд (Норвегия), Лак-Тио (Канада), Баррамби (Австралия);

2. контактово-метасоматический (mt в скарнированных породах; до 0,25% V_2O_5) – Осокино- Александровское, Альгарробо (Чили);

3. кор выветривания (Pb-Zn и Cu руд (dk-vn; 2-10% V_2O_5) – Тсумеб, Абенаб;

4. осадочные:

а) U-V в пестроцветных отложениях (kt-rs; 0,5-2% V_2O_5) – плато Кологадо (США);

б) ванадиеносные фосфориты (0,1-1% V_2O_5) – Сев. Африка, Флорида;

в) ванадиеносная нефть и битуминозные песчаники и сланцы (до 0,1% V_2O_5) – Венесуэла, Мексика, Канада;

г) патронито-вые (сульфид ванадия) отложения в асфальтитах; 11% V_2O_5 – Минасрагра (Перу);

5. прибрежно-морской россыпной (tmt пески; ок. 0,3% V_2O_5 – Новая Зеландия;

6. метаморфогенные: а) в зонах аргиллизации в древних крист. сланцах (ок. 1% V_2O_5 – Уилсон Спрингс (США); б) в габбро-амфиболитах (il-mt; 0,4-0,5% V_2O_5) – Отанмяки (Финляндия)

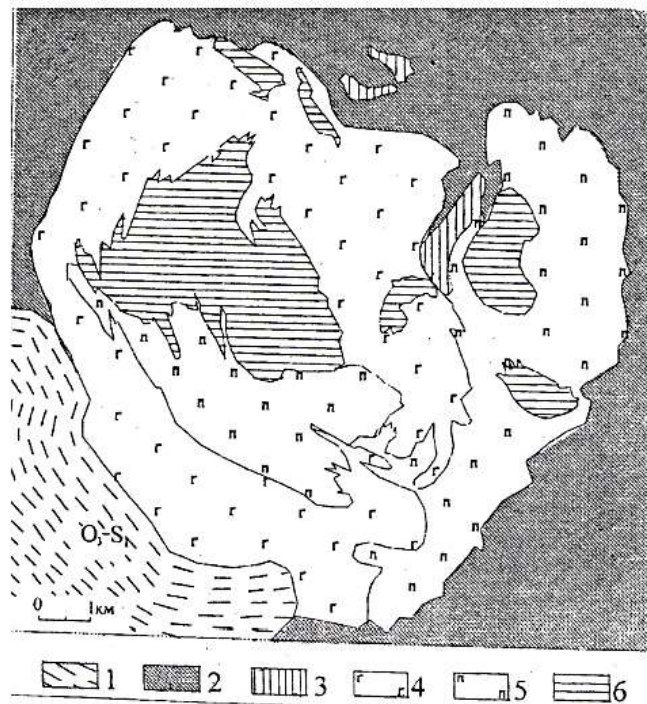


Рис. 20. 14. Схематическая геологическая карта Качканарского массива на Урале (по О.К. Иванову) 1 – зеленые сланцы; 2 – пироксен-плагноклазовые роговики; 3 – горнblendиты; 4 – габброиды; 5 – клинопироксениты; 6 – магнетитовые клинопироксениты

Рудоносный Качканарский габбро-пироксенитовый плутон (Гусевогорское и собственно Качканарское титаномагнетитовые месторождения) (Рис. 20.14) имеет изометричную форму площадью ок. 110 кв. км Рудные тела образованы вкрапленностью титаномагнетита, реже шлировыми выделениями и прожилками массивных руд в основном в пироксенитах, габбро и горнblendитах. Текстуры руд от крупно- до тонко зернистых вкрапленные. Ильменит (2-8%) Фиксируется в структурах распада твердых растворов. Попутный компонент – ванадий (помимо чугуна получают из конверторных шлаков) Fe (ср. сод. в рудах 16,6%) – Ti – V).

Лекция 21

Цветные металлы

Легированные металлы (ferroalloy metals) – (Ni, Co, W, Mo, etc).

Цветные металлы (non-ferrous metals) – (легкие: Mg, Al; тяжелые: Cu, Pb, Zn, Sb, Sn, Hg; причем Cu, Pb, Zn, Sn – base metals).

Алюминий (Al)

самый распространенный металл в земной коре (весовой кларк 8,05%), входящий в большое число породообразующих минералов; это второй после железа конструкционный материал в промышленности; эффективный заменитель более дорогостоящих меди, олова и др. металлов.

Минеральные типы руд:

1. гидраргиллитовые (гиббситовые) $Al(OH)_3$, диаспор-бемитовые $AlO(OH)$ и др. бокситы; ср. содержание глинозема (Al_2O_3) в разрабатываемых бокситах около 55%;
2. нефелиновые $(Na, K)AlSiO_4$ и апатит-нефелиновые; в среднем 28% Al_2O_3 ;
3. алунитовые $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$; в среднем около 20% Al_2O_3 .

Качество руд:

для производства глинозема содержание Al_2O_3 в бокситах должно быть не ниже 28%, а кремниевый модуль (Al_2O_3/SiO_2) не ниже 2 (при содержании глинозема не менее 37%); высокосортные бокситы характеризуются величиной этого модуля более 10 и содержаниями глинозема более 50%.

Продукты передела бокситов:

получение металлического алюминия из бокситов производится в две стадии: вначале химикотермическим (спекание), гидрохимическим (метод Байера), либо комбинированным (Байерспекание) методами получают глинозем (Al_2O_3), затем из расплава последнего с криолитом (Na_3AlF_6) – чистый металл; в зависимости от качества бокситов расход их на получение 1 т металла варьирует от 4 до 7 тонн. Глинозем получают на глиноземных заводах, металлический алюминий – на алюминиевых. Оба производства – чрезвычайно энергоемкие.

Генетические типы месторождений бокситов:

1. выветривания (остаточный латеритный) – Висловское (КМА), Высокопольское, Боке; (остаточный переотложенный) – месторождения Арканзаса, Австралии, Гайаны, Суринама, Гвианы;
2. осадочный (платформенный) – Тихвинские, Северо-Онежские, Тиманские, месторождения Северо-Американской, Китайской, Сибирской платформ (Енисейский

кряж), Тургайского прогиба; (геосинклинальный) – Северо- и Южноуральские, Салаирские, месторождения Венгрии, Греции, бывшей Югославии, Ямайки, Гаити, Доминиканской республики и др.

Генетические типы небокситового алюминиевого сырья:

1. магматический (уртитовые, апатит-нефелиновые, сынныритовые руды и др. высокоглиноземистые магматические породы);
2. гидротермальный вулканогенный (алунитовые руды);
3. экзогенный (каолиновые глины, аллиты, латериты и др. высокоглиноземистые осадочные породы);
4. метаморфогенный (кианитовые, силлиманитовые, андалузитовые и др. высокоглиноземистые метаморфические сланцы);
5. геотехногенный (хвосты обогащения углей, золы теплоэлектростанций, отходы металлургии и химической промышленности).

Группировка месторождений бокситов по разведанным запасам:

1. уникальные (запасы бокситов более 500 млн. т);
2. крупные (запасы бокситов от 50 до 500 млн. т)
3. средние и мелкие (запасы бокситов до 50 млн. т).

Примеры месторождений

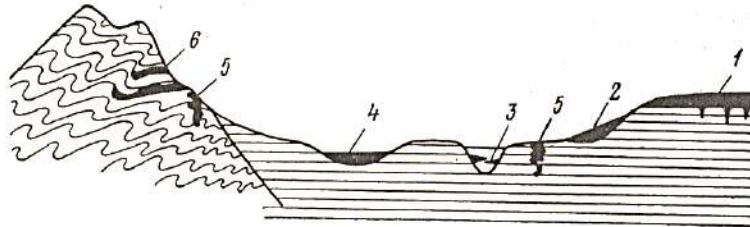


Рис. 21.1. Схема соотношения месторождений бокситов, различных по условиям образования (по В.И. Смирнову, 1989). Бокситы: 1 – остаточные (латеритные); 2 – склоновые (делювиальнопролювиальные); 3 – долинные (аллювиальные); 4 – котловинные; 5 – карстовые; 6 – геосинклинальные

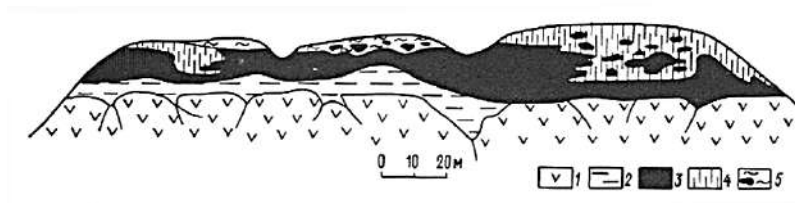


Рис. 21.2. Разрез бокситовых залежей в глинистых латеритах базальтового плато в Западной Индии (по В.И. Сияякову, 1987). 1 – базальты; 2 – литомарж (кремнистая глиноподобная, обычно тонкослоистая или листоватая порода, как правило залегающая под латеритами); 3 – боксит (алюминиевая руда, состоящая в основном из гидроксидов Al, оксидов и гидроксидов Fe и глинистых минералов; гл. минералы – гиббсит, бемит и диаспор) 4 – высоко-железистый латерит (богатый Fe и Al продукт выветривания горных пород; состоит из каолинита, гетита, гематита, гиббсита и кварца); 5 – красные глины с обломками латерита

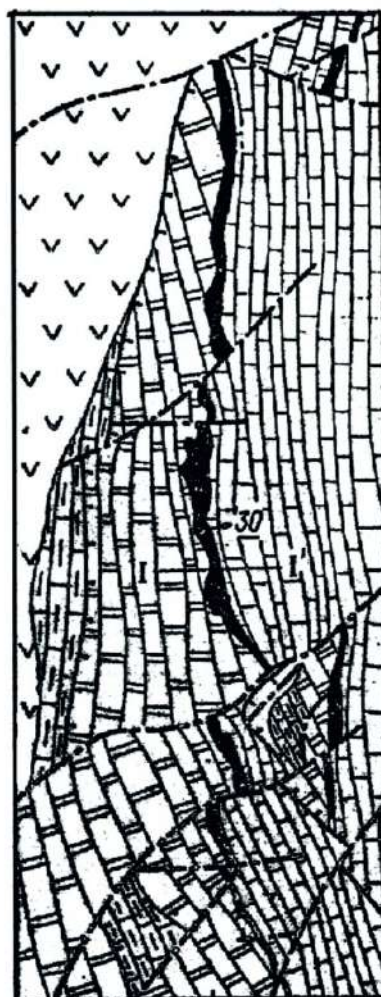


Рис. 21.3. Схема геологического строения месторождения бокситов Красная Шапочка на северном Урале (по А.Пейве) 1- вулканические породы сосвинской свиты; 2 – слоистые

известняки сарайной свиты; 3 – массивные известняки петропавловской свиты; 4 – бокситы; 5 – бокситы зеленовато-серые, 6 – мергели, 7 – известняки надрудной толщи, 8 – глинистые отложения, 9 – надвиги, 10 – сбросы

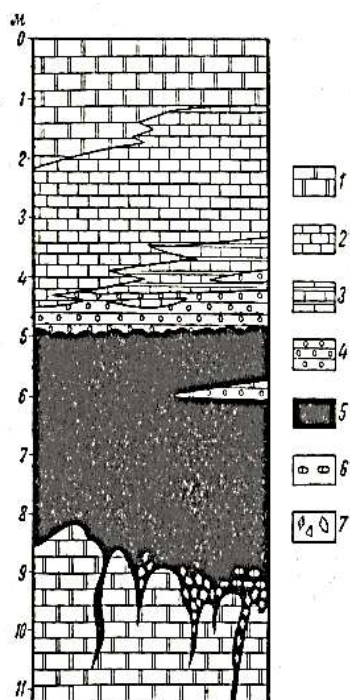


Рис. 21.4. Обобщенная геологическая колонка девонских бокситовых залежей Северного Урала (по Г. Бушинскому) 1 – известняки светло-серые, массивные; 2 – известняки темно-серые; 3 – мергели темно-серые и черные, с прослоями известняков; 4 – бокситы серые, слоистые, с морской фауной; 5 – бокситы красные; 6 – гальки известняка; 7 – угловатые куски известняка

Медь (Cu)

весовой кларк в земной коре 0,0047% (в основных породах – 0,01%, в кислых – 0,001%); главнейшие области использования – электротехническая промышленность и промышленность связи, получение сплавов с цинком (латунь), оловом (бронза), никелем (мельхиор), алюминием, свинцом, кремнием и др. металлами.

Промышленные минералы руд:

среди более чем 170 известных медьсодержащих минералов промышленное значение имеют лишь 17, главнейшими из которых являются халькопирит, борнит, халькозин и ковеллин; последние в сочетании с другими рудными минералами определяют многочисленные минеральные типы руд этого металла.

Качество руд:

по содержанию металла медные руды условно подразделяют на богатые (содержание Cu более 2%), рядовые или средние (0,8-2%), бедные (0,5-0,8%) и забалансовые (до 0,3%).

Добыча, обогащение и продукты металлургического передела:

медные руды после их открытой или подземной добычи перерабатываются методом флотации в концентрат (содержание Cu 10-35%) с последующим его пирометаллургическим переделом вначале в черновую медь (98-99%), затем огневым и электролитическим - в рафинированную (99,9X%).

Генетические типы месторождений:

1. Магматический (ликвационный сульфидный Cu-Ni) – Печенга, Мончегорск, Норильск, Талнах, Седбери (Канада), Камбалда (Австралия);
2. карбонатитовый (магнетит-апатит-борнитовый в карбонатитах) – Палабора (ЮАР);
3. скарновый (халькопирит-магнетитовые в известковых скарнах) – Саяк-1, Турьинские, Юлия, Клифтон, Бисби, Долорес;
4. плутоногенные гидротермальные (Cu-порфировый, Cu-Mo-порфировый) – Коунрад, Кальмакыр, Каджаран, Майданпек, Эль-Тенненге, Чукикамата, Бингем, Сан-Мануэль, Вэлли-Коппер, Эндако; (жильный) – Бьютт (Cu₃AsS₄ – родохрозит);
5. вулканогенный гидротермальный (самородной меди) – оз. Верхнее;
6. колчеданный (медно- и медно-цинково-колчеданный, колчеданно-полиметаллический) – Гай, Учалы, Сибай, Зыряновское, Риддер-Сокольное, Белоусовское, Шаканаи, Ханава, Рио-Тинто, Бор;
7. стратиформный (медистые песчаники и сланцы) – Джекказган (Казахстан), Удокан, Айнак (Афганистан), Роан Антилоп, Камото, Мансфельд, Предсудетское.

Группировка месторождений по разведанным запасам:

1. уникальные (разведанные запасы меди более 5 млн. т);
2. крупные (разведанные запасы меди от 1 до 5 млн. т);
3. средние (разведанные запасы меди от 0,1 до 1 млн. т);
4. мелкие (разведанные запасы меди до 0,1 млн. т); * минимальное промышленное содержание меди в мелких объектах составляет около 3%, в крупных и уникальных – 0,5-0,7%.

Примеры месторождений

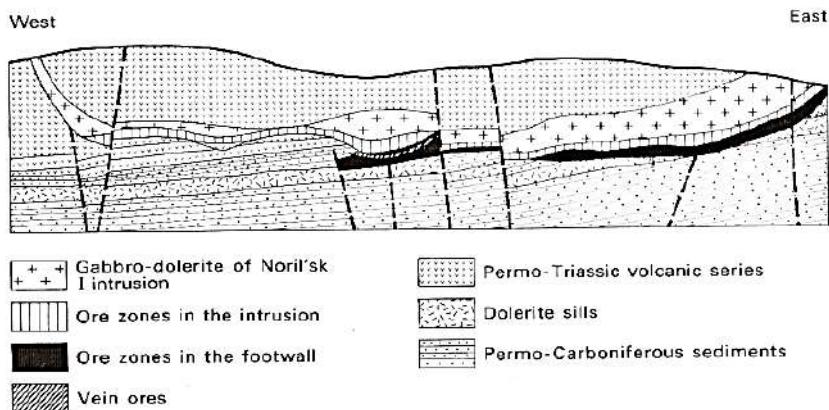


Рис. 21.5. Медно-никелевое месторождение Норильск-I (вертикальный разрез запад-восток) Силл габбро-долеритов и долеритовые силлы в окружении пород пермо-триасовой вулканической серии.

Зона вкрапленных руд в составе габбро-долеритового силла, зона сплошных и брекчиевых руд в его подошве. Главные рудные минералы: пентландит, халькопирит, пирротин и (магнетит).

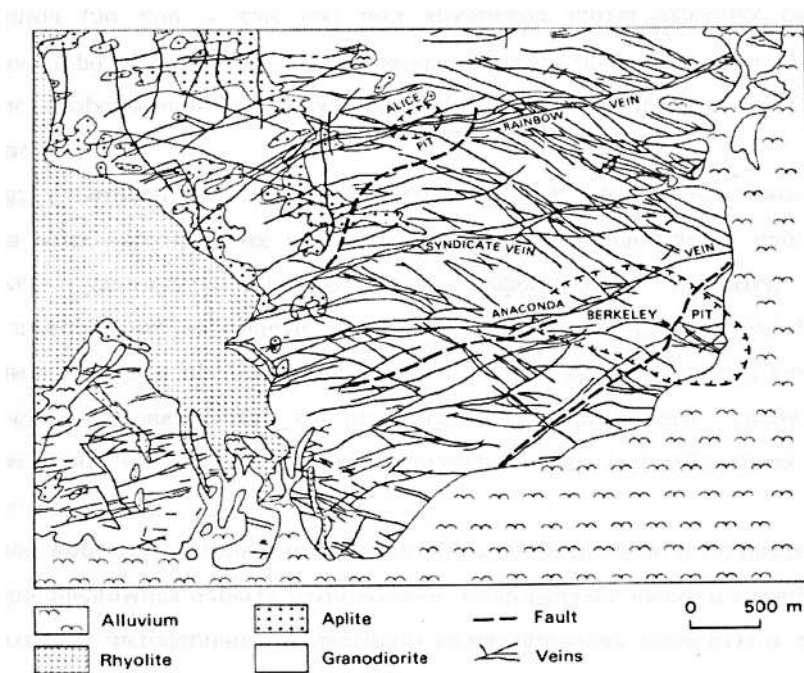


Рис. 21.6. Месторождение Бьютт, Монтана (Cu, Zn, Mn, Pb, Ag, Au, а также Bi, Cd, Se, Te и H₂SO₄) Геологический план поверхности с системами рудных жил (по Мейеру и др., 1968)

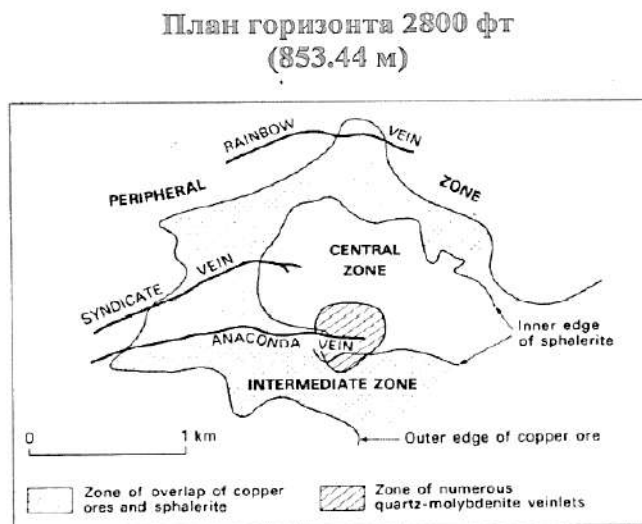


Рис. 21.7. Месторождение Бьютт, Монтана. Зональное строение на горизонте 2800 фт (853, 44 м) (по Мейеру и др., 1968)

Месторождение Бьютт, Монтана

Самое крупное месторождение меди жильного типа. Приурочено к массиву верхнемеловых кварцевых монцонитов Бьютт (кварцевые монцониты, аплиты, пегматиты, штоки и дайки кварцевых порфиров и более молодых послерудных риолитов). Площадь месторождения более 20 кв км. Большое число жил типа «конского хвоста».

Системы жил

1. Главными являются наиболее крупные трещинные жилы СВ системы «Анаконда» протяженностью до 8 км, прослеженных на глубину до 1,5 км. Средняя мощность 6-9 м (в раздувах до 30 м).

2. Система более молодых (рассекают жилы системы «Анаконда» с горизонтальным смещением до 60 м) СЗ «синих» жил протяженностью 300-600 м по простиранию, 180- 540 м по падению и средней мощностью 1,5-6,0 м.

Главные минералы жил:

кварц, пирит, энаргит (Cu_3AsS_4), составляющий около 50% запасов меди, борнит (Cu_5FeS_4), халькозин (Cu_2S); второстепенные и редкие минералы – халькопирит, сфалерит, родохрозит, молибденит, теннантит, самородное серебро, самородное золото; энаргит и сфалерит приурочены в основном к жилам системы «Анаконда»

Зона окисления:

развита до глубины 35-150 м; зона вторичного сульфидного обогащения- до глубины 300 м.

С начала эксплуатации (1882) до 1980 г (почти за 100 лет) на месторождении добыто около 500 млн т руды, из которой получено около 9 млн т Cu, более 2 млн т Zn, около 1,7 млн т Mn, 0,4 млн т Pb, 20 тыс. т Ag, 80 т Au, а также Cd, Bi, As, Se, Te.

Таблица 21.1. Средние содержания металлов (% г/т) и средние запасы руд (млн. т) колчеданных месторождений важнейших районов/провинций мира

Рудные районы и провинции	Кол-во месторождений*	Средн. содержания металлов (% г/т) и запасы руды (млн. т)					
		Cu, %	Zn, %	Pb, %	Ag, g/t	Au, g/t	Руда, Mt
Пояс Абитиби (Канада)	52(47)	1,47	3,43	0,07	31,9	0,80	9,2
Салаир (Россия))	6(5)	1,18	2,30	0,20	17,0	0,70	7,0
Каледониды Норвегии	38	1,41	1,53	0,06			3,5
Ньюфаундленд (Канада)	18(5)	1,10	13,09	0,38	22,5	0,61	2,5
	7(4)	1,49	9,11	4,28	82,1	0,98	4,6
Маунт-Виндзор (Австралия)	6(6)	2,35	6,67	2,18	55,9	1,27	2,7
Голбурн-Кума (Австралия)	2(2)	1,43	9,36	14,25	55,4	0,50	7,3
Бенамбра (Австралия)	2(2)	2,05	4,88	0,72	33,6	1,06	6,7
Зап. Тасмания (Австралия)	19(19)	1,12	3,41	1,39	37,0	0,42	10,1
Урал (Россия)	47(28)	1,67	1,60	0,03	14,5	0,46	20,0
Сев. Кавказ (Россия)	6(4)	1,87	1,26	0,02	12,5	0,29	9,0
Вест-Шаста (США)	10(10)	4,47	3,38		43,7	0,90	1,4
Батерст (Канада)	29(28)	0,56	5,43	2,17	62,0	0,50	8,7
Брит. Колумбия (Канада)	33(24)	1,71	1,18	0,18	50,2	0,98	5,8
Рудный Алтай (Россия, Казахстан)	34(22)	1,32	4,20	1,14	41,9	0,45	14,8
Притовый пояс (Испания, Португалия)	11(10)	1,26	3,31	1,08	57,4	0,12	49,8
Район Зеленых туфов (Япония)	25(7)	1,63	3,86	0,92	95,1	0,90	5,8

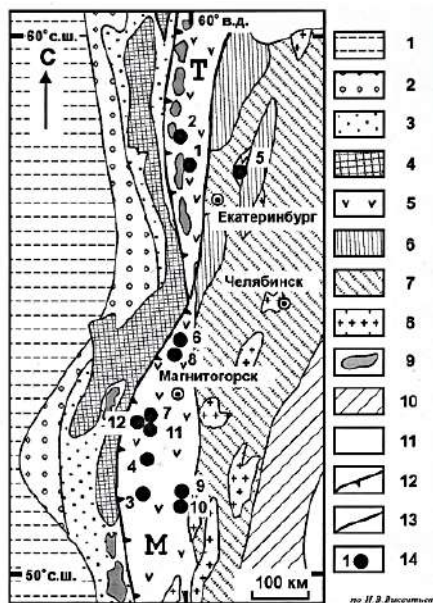


Рис. 21.8. Схема геологического строения Среднего и Южного Урала и положение некоторых колчеданных месторождений (по И.В. Викентьеву) 1 – Восточно-Европейская платформа, 2 – Предуральский прогиб, 3 – Западно-Уральская зона, 4 – Центрально-Уральское поднятие, 5 – Тагильская (Т) и Магнитогорская (М) зоны, 6 – тектонические фрагменты континентальной коры, 7 – Восточно-Уральская зона, 8 – гранитные массивы, 9 – ультраосновные массивы, 10 – Зауральская зона, 11 – Западно-Сибирская платформа, 12 – Главный Уральский разлом, 13 – Серовско-Маукская зона разломов. 14 – колчеданные месторождения (1-12): Сан-Дonato (1), Кабан (2), Гайское (3), Октябрьское (4), Сафьяновское (5), Учалинское (6), Сибайское (7), Им. 19 Партсъезда (8), Джусинское (9), Барсучий Лог (10), Бакр-Тау (11), Уваряж (12)

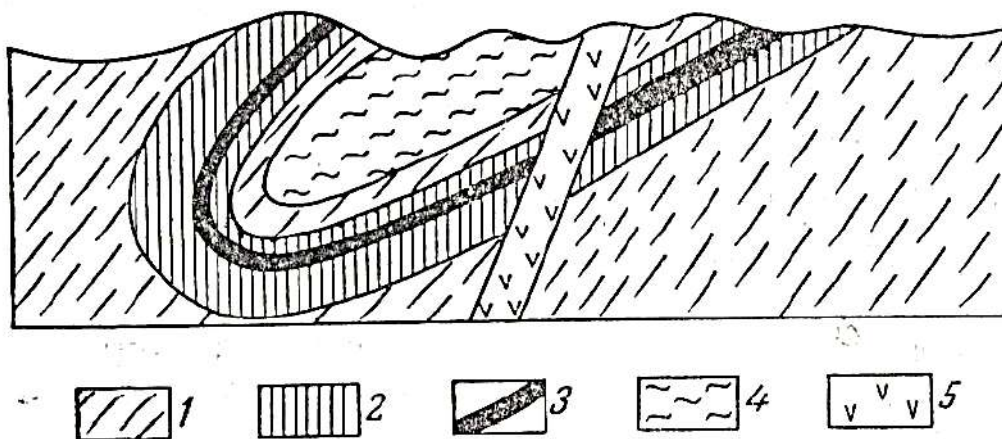


Рис. 21.9. Схема геологического строения месторождения медистых песчаников Удокан на поперечном разрезе (по Н. Бакуну и др.) 1 – косослоистые песчаники подводной

*дельты; 2 – песчаники надводной дельты; 3 – рудный горизонт; 4 – тонкослоистые алевриты;
5 – послерудные габбро-диабазы*

Удоканское месторождение меди

по величине разведанных запасов меди является крупнейшим в России и одним из самых крупных в мире; расположено в центральной части Кодаро-Удоканской СФЗ и приурочено к Намингской синклинали, вытянутой в СЗ направлении; стратиформное, находится в составе нижнепротерозойского удоканского осадочного комплекса.

Рудоносный горизонт сложен метаморфизованными кварц-полевошпатовыми песчаниками и алевролиями с кварц-серицитовым и известковистым цементом; прослой магнетитсодержащих песчаников, аргиллитов, конгломерато-брекчий и песчаных известняков; наблюдается ритмичность. В фациальном отношении породы надрудной пачки – отложения прибрежно-морского мелководья; рудной пачки – фации наземной и подземной частей дельты, лагун, заливов; подрудной пачки – прибрежно-морских фаций открытого моря (Богданов и др.).

Руды – вкрапленные, слоистые, гнездовые, линзовидные, слоисто-вкрапленные; по составу – халькозин-борнитовые, халькопирит-пиритовые, брошантит-малахитовые, образующие первичную и вторичную зональность (центральная часть мульды: chp-ру, ее борта - chz-bn, на поверхности - btt-mcht). Сульфидные, смешанные и окисленные руды.

Контуры рудоносного горизонта – по содержанию меди = 0,1%. Руды среднего качества с участками как богатых (Cu>2%), так и бедных руд. Основной компонент – Cu; попутные – Ag, Au -, извлекаемые в медный концентрат. Возможно получение магнетитового концентрата.

Никель (Ni)

Весовой кларк в земной коре 0,0058%, заметно повышающийся в ультраосновных горных породах (0.02%). Основная масса металла используется в металлургии для производства легированных сталей (нержавеющих, жаропрочных и др.) и сплавов с Cu, Zn, Al (латунь, нейзильбер, мельхиор, бронза), сплав Ni и C (нихром).

Промышленные минералы руд: Ni образует 45 собственных минералов, а также присутствует во многих минералах как примесь, изоморфно замещая двухвалентное железо и магний. Промышленное значение имеют: пентландит (Fe,Ni)9S8, миллерит NiS, никелин NiAs, полидимит Ni3S4, герсдорфит NiAsS, а также многочисленные водные силикаты: гарниерит - NiO·SiO2·2H2O, непуит – 12NiO·3SiO2·2H2O, ревинскит 3(Ni,Mg)O·2SiO2·2H2O и др.

Типы руд:

1. Сульфидные медно-никелевые (po+chp+ptl+mt) со средним содержанием Ni 0,3-4%, Cu 0,2-7,5%; попутные компоненты: Co, Au, Ag, Pt (PGE), Se, Te; сплошные (массивные), брекчиевидные, вкрапленные, прожилково-вкрапленные;

2. Силикатные никелевые (рыхлые глинистые образования латеритной коры выветривания с гарниеритом и другими водными силикатами Ni) с содержанием Ni от 0,75 до 4%; промышленные содержания Co (асболан) связаны с охрами и охристо-кремнистыми образованиями.

Добыча, обогащение, продукты металлургического передела:

Месторождения сульфидных руд разрабатываются подземным и открытым способами, силикатных – исключительно открытым (карьеры) способом. Обогащение сульфидных руд включает многостадийное дробление, коллективную или коллективно-селективную флотацию; руды с суммарным содержанием Ni+Cu более 4-5% идут в плавку без обогащения; промпродукты плавки – штейн (6-11% Ni, 3-9% Cu) и файнштейн (20-60% Ni, 25-58% Cu); конечный продукт – черновой никель (до 2-2,5%Fe, до 2,6%Cu). Силикатные руды перед плавкой брикетируются; в результате последующей плавки получают штейн (12-15% Ni), файнштейн (около 78% Ni); после последующего обжига и восстановительной электроплавки получают черновой металл (ферроникель).

Генетические типы месторождений:

1. Магматический (ликвационный сульфидный медно-никелевый) – Печенга, Мончегорск, Норильск, Талнах (Россия); Седбери, Линн-Лейк, Гордон-Лейк (Канада), Камбалда (Австралия), Риф Меренского (ЮАР), Стлуотер (США).

2. Кор выветривания (силикатный никелевый) – Тио, Поро, Непуи, Куауа в Новой Каледонии, Моа, Пинарес-де-Маяри на Кубе, Никеландрия в Бразилии, Черемшанское, Сахаринское в России и др

3. Железо-марганцевые конкреции и корки на океаническом дне.

Группировка месторождений по разведанным запасам:

1. уникальные (разведанные запасы Ni более 0,5 млн. т);
2. крупные (разведанные запасы Ni от 0,25 до 0,5 млн. т);
3. средние (разведанные запасы Ni от 0,1 до 0,25 млн. т);
4. мелкие (разведанные запасы Ni до 0,1 млн. т);

Примеры месторождений

Докембрийский магматический комплекс Садбери (Sudbury, Ontario) размером в плане 60 x 27 км находится к северу от оз. Гурон близ границы провинций Superior и Grenville Канадского щита.

Полагают, что в разрезе он имеет форму деформированной воронки (funnel), сложенной авгитноритами (нижняя), кварцевым габбро (промежуточная зона) и гранофирами (верхняя зона).

В основании норитовой зоны находится прерывистый интервал, обогащенный сульфидами. Этот интервал вместе с т.н. «offsets» - крупнейший мировой источник никеля, а также Cu, Co, Fe, Pt и 12 других химических элементов.

Начальные запасы руды составляли порядка 930 млн, а Содержания металлов 3,5% никеля и 2% меди. Сейчас эти содержания составляют около 1% для каждого из них.

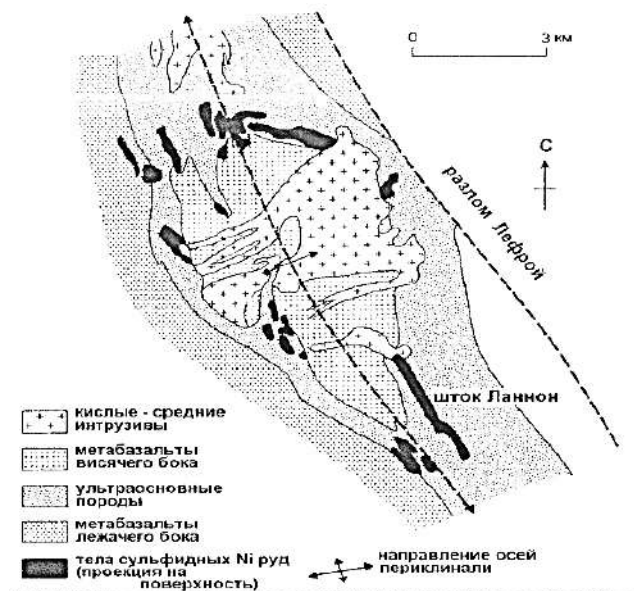


Рис. 21.10. Сводная геологическая карта месторождения никеля Камбалда (Западная Австралия)

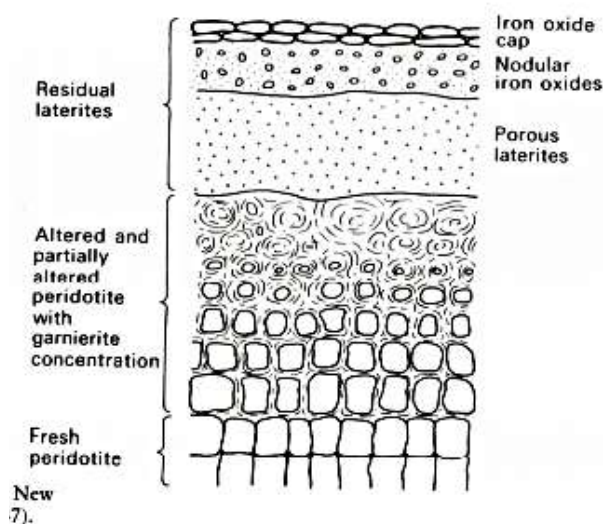


Рис. 21.11 Новая Каледония Вверху: Схематический профиль формирования латеритной коры выветривания и связанной с ней силикатной Ni минерализации. Внизу: схематический разрез силикатных Co-Ni месторождений Новой Каледонии

Олово (Sn)

Химическая устойчивость, нетоксичность, способность образовывать сплавы предопределили широкое использование олова для производства белой жести, фольги, припоев, баббитов, латуни, бронзы и других материалов, используемых в пищевой, электротехнической и многих других отраслях промышленности. Весовой кларк олова в земной коре составляет 0,000245%. Олово проявляет тенденцию к накоплению в постмагматических продуктах – пегматитах, грейзенах и гидротермальных образованиях.

Промышленные минералы руд:

известно около 20 минералов Sn, важнейшими из которых являются касситерит и станнин, в меньшей степени – франкеит, тиллит и гидрокасситерит (суксит). Как изоморфная примесь Sn устанавливается в блеклых рудах (теннантит – тетраэдрит), халькопирите, сфалерите и в других минералах.

Качество руд:

в рудах коренных месторождений содержание Sn варьирует от 0,1 до 2-3% и более; различают богатые (содержание Sn более 1%), рядовые (1,0 - 0,4%) и бедные (0,4 – 0,1%) руды; бессульфидные и малосульфидные руды легко обогатимы с извлечением Sn около 75-80%; сульфидные руды трудно обогатимы с извлечением Sn около 40%. В россыпях среднее содержание касситерита 0,2-0,8 кг/куб. м (минимальное промышленное – 0,1-0,2 кг/куб. м, максимальное – может достигать 10-15 кг/куб. м.

Разработка месторождений и обогащение руд:

Коренные месторождения разрабатываются открытым и подземным способами, морские россыпи – драгами, россыпи на суше – экскаваторами, бульдозерами и скреперами. Коренные руды после дробления и измельчения обогащаются гравитационными, флотационными, гравитационно-флотационными методами и магнитной сепарацией. Обогащение россыпей: после промывки, классификации, дробления и отсадки песков, очистка концентрата – магнитной и электрической сепарацией.

Генетические типы месторождений

1. Пегматитовый (Вишняковское, Гольцовое, Уис, Берд-Ривер, Гринбушес);
2. Скарновый (Кительское, Питкьяранта, Майхура, Маунт-Гарнет, Лаочан, Сан-Антонио);
3. Грейзеновый (Этыка, Моховое, Тигриное, Правоурмийское, Хинганское, Одинокое, Альтенберг, Циновец, Питинга, Ист-Кемптивилл);
4. Плутоногенный гидротермальный: а) кварцевый подтип (Иультин, Пыркакайское, Лунное); б) силикатный (хлоритовый) подтип (Дубровское, Бургочан); в)

силикатный (турмалиновый) подтип (Валькумей, Депутатское, Илентас, Солнечное, Фестивальное, Перевальное); г) сульфидный (сульфосольный) подтип (Смирновское, Шерловогорское, Хапчаранга); д) сульфидный (колчеданный) подтип (Дальнетаежное);

5. Вулканогенный гидротермальный: а) сульфидный (сульфосольный) подтип (Ллалагуа, Потоси, Чоролька, Оруро, Ренисон-Белл, Малагэ, Акенабе); б) сульфидный (колчеданный) подтип (Серро-Рико-де-Потоси);

6. Россыпной элювиальный (Куала-Лангат), делювиальный (Ханор), аллювиальный (Тирехтях, Глубокая, Западная Ручья, Гранитный, Кэрбенг, Ергылкан), прибрежно-морской (Валькумейская, стран ЮВ Азии) россыпи.

Группировка месторождений по разведанным запасам:

1. уникальные (разведанные запасы олова более 100 тыс. т);
2. крупные (100 - 25 тыс. т);
3. средние (25 - 5 тыс. т);
4. мелкие (до 5 тыс. т).

Примеры месторождений

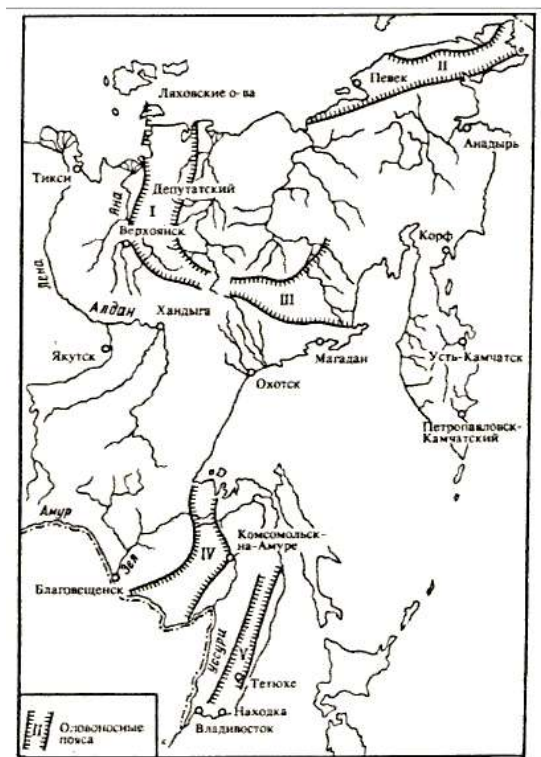


Рис. 21.12. Оловоносные пояса Дальневосточного экономического района России (По АБ.Павловскому) Оловоносные пояса (провинции): I – Верхоянский II – Чукотский III – Колымский IV – Хингано-Охотский V – Сихотэ-Алинский

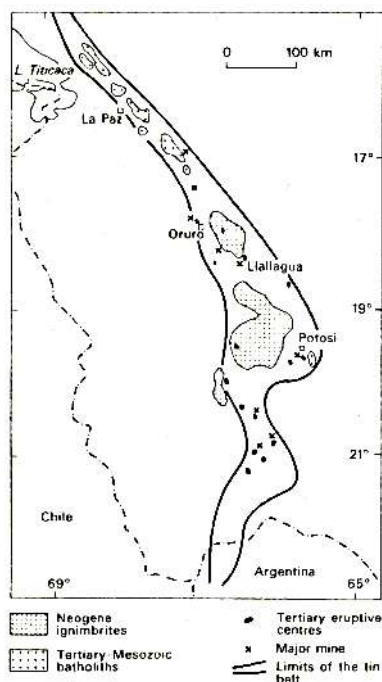


Рис. 21.13. Боливийский оловянный пояс (по Гранту и др., 1977) Условные обозначения: - неогеновые игнимбриты, - третичные-мезозойские батолиты, - третичные эруптивные центры, - крупные месторождения, - границы оловянного пояса

Неогеновый вулканический некк (шток Сальвадора, сужающийся с глубиной), в ядре палеозойской антиклинали рассечен многочисленными жилами мощностью около 0,6 м. Околорудное окварцевание, турмалинизация, серицитизация, рассеянные сульфиды. Руда: касситерит, висмутин, пирротин, арсенопирит, станнин, сфалерит, халькопирит и др.

Вольфрам (W)

Как легирующая добавка W необходим для производства броневых и специальных (быстрорежущих, инструментальных и др.) сталей, в сочетании с другими металлами используется для получения жаропрочных и сверхтвердых сплавов (победитов, карбидов, боридов), применяется в электронной и электротехнической, лакокрасочной и химической промышленности. Весовой кларк в земной коре 0,00013%, накапливается в продуктах остаточной кристаллизации гранитных магм; его повышенные концентрации отмечаются в каменных углях, рапе соляных озер, в морских отложениях, обогащенных Fe, Mn, углистым веществом.

Промышленные минералы руд:

из минералов W промышленное значение имеют вольфрамит $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{WO}_4$, ферберит FeWO_4 , гюбнерит MnWO_4 и шеелит CaWO_4 ; руды коренных месторождений подразделяются на кварц-вольфрамитовые и скарновые шеелитовые.

Качество руд:

в коренных месторождениях различают богатые (содержание WO_3 более 1%), рядовые (1,0- 0,3%), бедные (0,3 – 0,1%) и убогие (менее 0,1%) руды; все они легко обогатимы за исключением мелкокрапленых и комплексных шеелитовых образований. В россыпях минимальное содержание WO_3 составляет 0,2 -0,3 кг/куб. м.

Обогащение руд:

вольфрамитовые руды обогащаются мокрой гравитацией (извлечение в зависимости от крупности зерен 62 – 85%), шеелитовые – флотацией (извлечение 85 – 90%) либо гравитационно-флотационным методом; товарные концентраты содержат 55 -70% WO_3 .

Генетические типы месторождений:

1. скарновый (Восток-2, Лермонтовское, Агылкинское, Тырнауз, Лянгар, Ингичке, Салаи, Чорух-Дайрон, Хуанподи, Магтунг, Эмеральд-Фини, Милл-Сити, Пайн-Крик);
2. грейзеновый (Спокойнинское, Шумиловское, Акчатау, Кара-Оба, Циновец, Крупка, Югодзыр, Синь-Хуаншань, Вольфрам Кемп);
3. плутоногенный гидротермальный (Иультин, Светлое, Тенкергин, Холотосон, Бом-Горхон, Букука, Дедовогорское, Забытое, Илентас, Фестивальное, Богуты, района Корнуолл, Бельфор, Ред-Роуз, Хабертон);
4. вулканогенный гидротермальный комплексных (Sn-Ag-W, Hg-Sb-W, Au-W, Mn-W) руд (Ново-Ивановское, Тасор, Икар, Зопхито, Усин, Сиань, Акенобе, Аспо, Гюмюслер, Тунготен-Куин, Морокоча);
5. стратиформный (Кти-Тебердинское, Барун-Шивея, Сонгдонг, Кинг-Айленд);
6. россыпной (Иультин, Омчикандин, Шерлова Гора, месторождения Казахстана, Китая, Мьянмы, Индонезии, Таиланда, Боливии, США).

Группировка коренных месторождений по разведанным запасам:

1. уникальные (разведанные запасы WO_3 более 250 тыс. т);
2. крупные 9250 -100 тыс. т);
3. средние (100-15 тыс. т);
4. мелкие (до 15 тыс. т).

Примеры месторождений

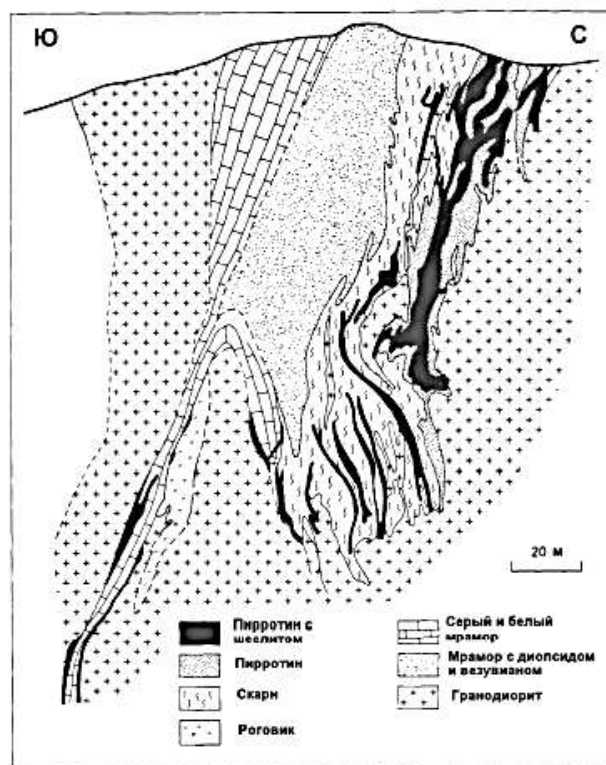


Рис. 21.14. Вольфрамовое месторождение Салаи, Франция (разрез по: Prouhet, 1983)

Пиринеи, близ границы с Испанией. Герцинские гранодиориты Салаи интрузируют ордовикские известняки, переходящие в мраморы Состав руд (в экзоконтактовой зоне интрузива): Po с подчиненными Chp , Mo , Asp и др. сульфидами. Главный промышленный минерал - шеелит ($CaWO_4$) рассеян в Po -содержащем геденберит-гранатовом скарне. Содержание $WO_3 \sim 1,5\%$, запасы руды – 1,3 млн.т. Бедные Po с низкими (непромышленными) содержаниями $WO_3 - 0,2\%$ в состав рудных тел не включаются.

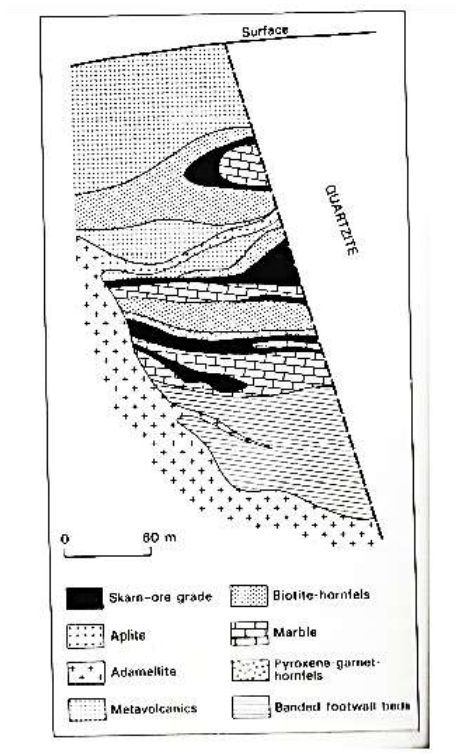


Рис. 21.15. Вертикальный разрез скарнового месторождения вольфрама Болд Хэд, Тасмания

Шеелитоносные андрадитовые скарны образовались при селективном замещении пластов известняков в контакте с гранодиоритами и адамеллитами раннекаменноугольного возраста. Стратиформные рудные тела имеют мощность 5-40 м.
Шеелит – CaWO_4 Андрадит – $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$

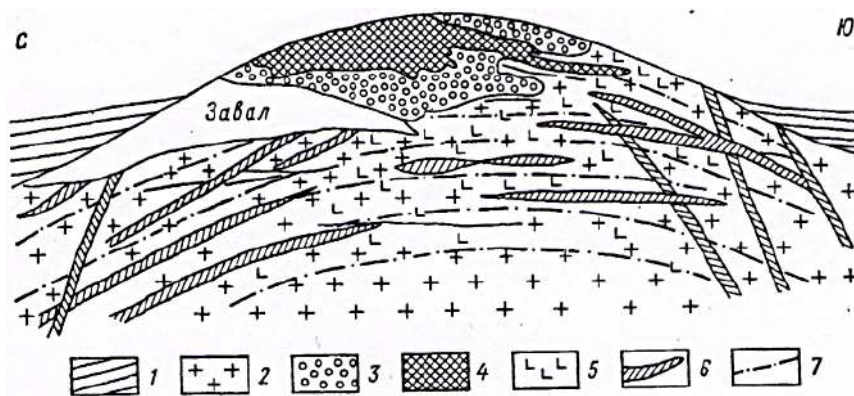


Рис. 21.16. Спокойнинское вольфрамовое месторождение в Забайкалье (по М.А. Осипову). Рудовмещающая протоинтрузивная трещинная структура. 1 – метаморфизованные сланцы; 2 – граниты; 3 – существенно полевошпатовая зона пегматитового тела; 4 – кварцевое ядро пегматитового тела; 5 – полосчатые грейзены; 6 – кварцевые жилы; 7 – трещины отдельности

Лекция 22

Благородные металлы

Это – золото (Au), серебро (Ag), платина (Pt) и металлы ее группы (PGM): палладий (Pd), иридий (Ir), родий (Rh), осмий (Os), рутений (Ru). Благородными они названы из-за своей исключительной химической стойкости и привлекательного внешнего вида в изделиях.

К благородным металлам относятся золото, серебро, платина и тесно связанные с нею, объединяемые по своим свойствам в «металлы платиновой группы», платиноиды – осмий, иридий, палладий, рутений и родий.

Благородные металлы обладают химической стойкостью, тугоплавкостью (кроме золота и серебра), красивым внешним видом в изделиях (отсюда название).

Благородные металлы входят в две группы периодической системы Д.И.Менделеева. Две триады платиновых металлов: лёгкие (рутений, родий, палладий) и тяжелые (осмий, иридий, платина) – входят в восьмую группу системы вместе с железом, кобальтом и никелем. Золото, вместе с серебром и медью, принадлежит ко второй подгруппе первой группы.

Золото (Au)

Кларк золота в земной коре составляет 4,5·10⁻⁷% (4,5 мг/т); области использования: обеспечение и валюта при международных платежах и расчетах, ювелирное дело и чеканка монет, электронная и др. промышленность, использующие его сплавы с медью (лигатуры), серебром, платиной и др. металлами, медицина

Минералогия

главный промышленный минерал – самородное золото: тонкодисперсное (до 10 мкм), мелкое (до 0,1 мм), среднее (до 1 мм), крупное (до 5 мм) и самородки (более 5 мм или более 10 г по массе); его качество определяется содержанием Au в 1000 единицах по массе как высокопробное (более 900 единиц), средней пробы (900-700) и низкопробное (менее 700); известны также интерметаллические соединения: электрум – Au,Ag; кюстелит – Ag(Au); аурикуприт – AuCu₃; аурустибит – AuSb₂; родит – Au(Rh,Ir,Pd); теллуриды: калаверит – AuTe₂; сильванит – (Au,Ag)Te₄; креннерит – (Au,Ag)Te₂; петцит – Ag₃AuTe₂ и др.

Содержания «рудного» и «россыпного» золота

в коренных золоторудных месторождениях в зависимости от масштаба и типа оруденения – 1-5 г/т и более; в золотосодержащих (Au – попутный компонент) оно может быть ниже; в россыпях минимальное содержание Au около 0,1 г/куб. м.

Извлечение золота

наряду с дроблением, дезинтеграцией, грохочением, измельчением, промывкой, гравитационным обогащением, флотацией и металлургической переработкой применяются амальгамирование (избирательное смачивание ртутью частиц золота с образованием амальгам), цианирование (избирательное растворение золота в цианидах щелочных металлов) и другие методы; внедряются технологии бактериального выщелачивания золота из руд и концентратов; метод кучного выщелачивания

Генетические типы месторождений:

1. скарновый – Ольховское, Никел Плейт, Холдон и др.
2. плутоногенный гидротермальный: Au-Q – Мурунтау; Au-Q-сульфидный – Дарасун, Березовское, Колар; а также Au-содержащие Cu-порфиновые месторождения;
3. вулканогенный гидротермальный: Au-Q – Крипл-Крик, Сильвертон, Балей; Au-Ag-Q- адуляровый – Карамкен; Au-сульфидный (Au-полиметаллический и Au-колчеданный) – Ново-Широкинское, Майское и многие другие месторождения Урала, Рудного Алтая и др. регионов;
4. флюидно-метаморфогенный: Au-малосульфидный черносланцевый – Сухой Лог, Юрское; Au-сульфидный – Хоумстейк; Au-Q-сульфидный зеленокаменный – Зуя-Холбинское;
5. осадочно-метаморфогенный: Au-конгломератовый Виватерсранд, Жакобина, Тарква;
6. выветривания – в зонах окисления сульфидных Au-содержащих мторождений;
7. россыпи – в первую очередь – аллювиальные долинные и террасовые – р Бодайбо; прибрежно-морские – Ном.

Группировка месторождений по разведанным запасам:

1. весьма крупные (запасы Au – 100 т и более; для россыпей – 50 т и более);
2. крупные (запасы Au – 50-100 т; для россыпей – 25-50 т);
3. средние (запасы Au – 10-50 т; для россыпей – 1-25 т);
4. мелкие (запасы Au – до 10 т; для россыпей – до 1т).

Примеры месторождений

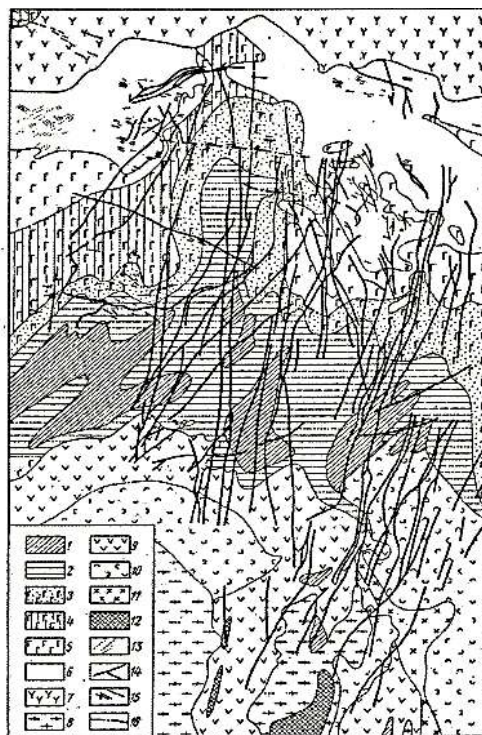


Рис. 22.1. Схематическая геологическая карта Березовского рудного поля, Средний Урал 1 – туфогенно-осадочные породы; 2 – туфы с прослоями сланцев, филлитов, туфопесчаников и туфоконгломератов; 3 – метаморфизованные диабазы и туфы; 4 – измененные афанитовые базальты; 5 – зернистые диабазы; 6 – серпентинизированные гипербазиты, серпентиниты, тальк-карбонатные породы; 7 – габбро; 8 – граниты; 9 – контактовый ореол гранитов; 10 – кварциты, кварцево-сланцевые сланцы; 11 – роговики; 12 – амфиболиты; 13 – габбро; 14 – нерасчлененные дайки гранитоидов; 15 – рудные жилы; 16 – разломы

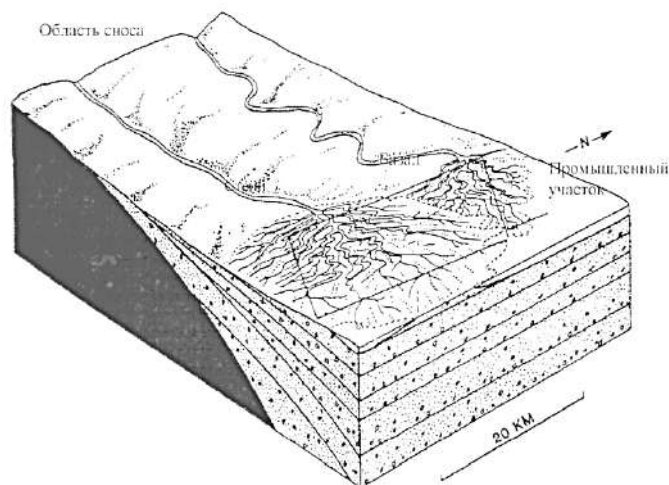


Рис. 22.2. Золоторудное поле Велком (бассейн Витватерсранд). Ветвящиеся дельты крупных рек, в которых образовались частично перекрывающиеся россыпи Базал и Стейн золоторудного поля Велком (бассейн Витватерсранд)

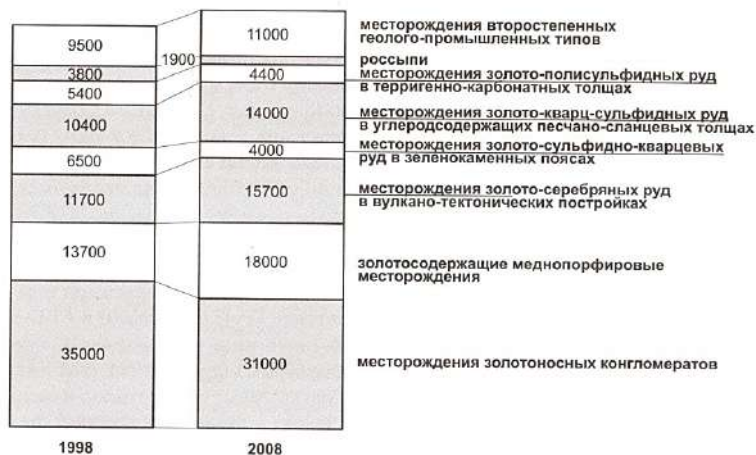


Рис. 22.3. Изменение структуры мировых запасов золота с 1998 до 2008 года, тонн



Рис. 22.4. Географическое распределение общих запасов и запасов золота в 2008 году, тонн

Серебро (Ag)

Наряду с золотом, платиной, а также палладием, родием, осмием и рутением принадлежит к группе благородных металлов; области использования: ювелирное дело, чеканка монет и медалей, изготовление художественных изделий и посуды, электронная и др. технические отрасли промышленности (в том числе нанотехнологии и солнечная энергетика), производство фотоматериалов, инвестиции и др.

Минералогия серебра

Известно около 60 минералов Ag – сульфидов, сульфосолей, теллуридов, селенидов и галоидов. Важнейшее промышленное значение имеют самородное серебро – Ag (80-100% металла; примеси Au, Cu, а также Fe, Sb, Bi, Hg; известны самородки массой до 20 т), аргентит – Ag_2S , пираргирит – Ag_3SbS_3 , прустит – Ag_3AsS_3 , полибазит – $(Ag, Cu)_{16}Sb_2S_{11}$, стефанит – Ag_5SbS_4 , фрейбергит – $(Ag, Cu, Fe)_{12}(Sb, As)_4S_{13}$ и др.

Содержание серебра в рудах

Содержание серебра в рудах месторождений цветных металлов варьирует в пределах 10-100 г/т, в золотосеребряных месторождениях – 200-1000 г/т, в собственно серебряных – 900 -1000 г/т и более. Нижний предел содержания серебра в промышленных рудах составляет от 45-50 до 200 г/т.

Извлечение серебра

Руда, содержащая Ag, дробится, измельчается и подвергается обогащению с получением шлама. Обычно проводят предварительное гравитационное отделение крупных частиц Ag, чтобы не допустить их переизмельчение.

При извлечении Ag из серебряных и золотых руд применяют метод цианирования (растворение Ag в щелочном растворе NaCN).

Из медных руд Ag выплавляют вместе с черновой Cu и затем выделяют его из анодного шлама, образующегося при электролитической очистке Cu.

При переработке свинцово-цинковых руд Ag концентрируется в черновом Pb, из которого его извлекают добавлением металлического Zn, образующего с Ag нерастворимое в Pb тугоплавкое соединение. Далее для отделения Ag от Zn последний отгоняют при 1250оС. Извлеченное из медных или свинцово-цинковых руд Ag сплавляют и подвергают электролитической очистке.

Геолого-промышленные типы месторождений серебра

Среди собственно серебряных месторождений выделяют:

плутоногенные гидротермальные (Ag-As и Ag-Pb рудных формаций) и **вулканогенные гидротермальные** (Ag-Au и Ag-Sn рудных формаций).

Среди серебряносодержащих месторождений выделяют:

колчеданно-полиметаллический в *вулканогенно-осадочных* и карбонатно-терригенных формациях фанерооя (Брансуик в Канаде, Ред-Дог в США, Хелмер в Австралии и др.);

колчеданно-полиметаллический в **метаморфических** и вулканогенно-терригенно-карбонатных толщах докембрия (Маунт-Айза, Брокен-Хилл в Австралии, Кидд-Крик, Салливан в Канаде);

медно-порфировый (Чукикамата, Эль-Тениенте в Чили, Бингем в США, Торомоча в Перу, Серро-Колорадо в Панаме);

золотоносные конгломераты (Витватерсранд в ЮАР);

скарновый (Серро-де-Паско в Перу, Трепча в Сербии);

медистых песчаников и сланцев (Люблин, Глогув в Польше, Зангерхаузен, Ширенберг в Германии)



Рис. 22.5. Распределение мировых выявленных ресурсов и запасов серебра на 01.01. 2009 г. тыс. т

Таблица 22.1. Подтвержденные запасы серебра в сереброносных рудах месторождений России

МЕСТОРОЖДЕНИЕ	РУДЫ	ЗАПАСЫ А+В+С ₁ , ТОНН	СРЕДНИЕ СОДЕРЖАНИЯ СЕРЕБРА, Г/Т	ДОЛЯ В ЗАПАСАХ РОССИИ, %
Дукитское (Магаданская область)	Золото-серебряные	9511	640,3	13,7
Улюканское (Забайкальский край)	Медистые песчаники и сланцы	7345	10,0	10,6
Октябрьское (Красноярский край)	Медно-никелевые	4586	5,1	6,6
Горевское (Красноярский край)	Свинцово-цинковые колчеданные	4522	55,9	6,5
Озерное (Республика Бурятия)	Свинцово-цинковые колчеданные	4384	35,0	6,3
Гайское (Оренбургская область)	Медно-колчеданные	3833	10,5	5,5
Холоднинское (Республика Бурятия)	Свинцово-цинковые колчеданные	2776	9,8	4,0
Ташнахское (Красноярский край)	Медно-никелевые	2607	3,7	3,8
Полоповское (Республика Башкортостан)	Медно-колчеданные	2226	27,6	3,2
Удельгинское (Челябинская область)	Медно-колчеданные	1955	30,6	2,8
Хакенджинское (Хабаровский край)	Серебряно-золотые	1624	344,2	2,3
Лунное (Магаданская область)	Серебряно-золотые	759	403,6	1,1
Всего		46132		66,6



Рис. 22.6. Доля месторождений разных геолого-промышленных типов в добыче серебра, %

Металлы платиновой группы (МПГ, PGE) Pt, Pd, Ir, Rh, Os, Ru

Благодаря сочетанию уникальных физико-химических свойств (тугоплавкости, химической стойкости, каталитической активности, электропроводности, пластичности, свариваемости и др.), МПГ используются как катализаторы (50%), в электротехнической, нефтехимической, автомобильной, медицинской отраслях промышленности (25%), при производстве химической аппаратуры и антикоррозионных покрытий (15%), в ювелирном деле (10%).

Минералогия МПГ

Известно свыше 90 минералов платиноидов. Среди них:

самородные МПГ и их природные сплавы (твердые растворы) – самородная платина (поликсен) Pt, изоферроплатина Pt₃Fe, осмирид IrOs и иридоосмин (невьянскит) OsIr, рутениридоосмин RuOsIr;

интерметаллические соединения МПГ с Sn, Pb, Bi, As, Sb и Te – рустенбургит Pt₃Sn, паоловит Pt₂Sn, плюмбопалладинит Pd₃Pb₂, соболевскит PdBi, мончеит PbTe₂;

сульфиды, арсениды и сульфоарсениды МПГ – куперит (Pt,Pd,Ni)S, брэггит (Pt,Pd,Ni)S, высокоцит (Pd,Ni)S, лаурит RuS₂, сперрилит PtAs₂, холингвортит RhAsS, паларстанид Pd₈(Sn,As)₃, купроиридоит CuIr₂S₄.

Руды МПГ

Промышленными считаются коренные руды с содержанием платиноидов от 3-5 г/т и более. Руды с содержаниями платиноидов 10-15 г/т являются богатыми. Содержание платиноидов в аллювиальных россыпях изменяется от единиц миллиграммов до сотен граммов на 1 м³

Месторождения МПГ по величине разведанных запасов

Крупные м-ния – разведанные запасы платиноидов более 100 т;

Средние м-ния - разведанные запасы платиноидов от 10 до 100 т;

Мелкие м-ния - разведанные запасы платиноидов от 1 до 10 т.

Типы промышленных месторождений МПГ

Раннемагматический (Риф Меренского в Бушвелдском комплексе, Pt-Cr-Cu-Ni формация).

Позднемагматический (Нижнетагильское месторождение, м-ния Кемпирсайского массива, Cr-Pt формация).

Ликвационный (месторождения Норильского района, Cu-Ni-Pt формация).

Россыпи элювиальные, делювиальные, аллювиальные, тесно связанные с коренными источниками платиноидов (сравнительно бедные, но значительные по площади и запасам массивы габбро-пироксенитдунитового состава, щелочные интрузивы сиенитов; Инаглинское м-ние).

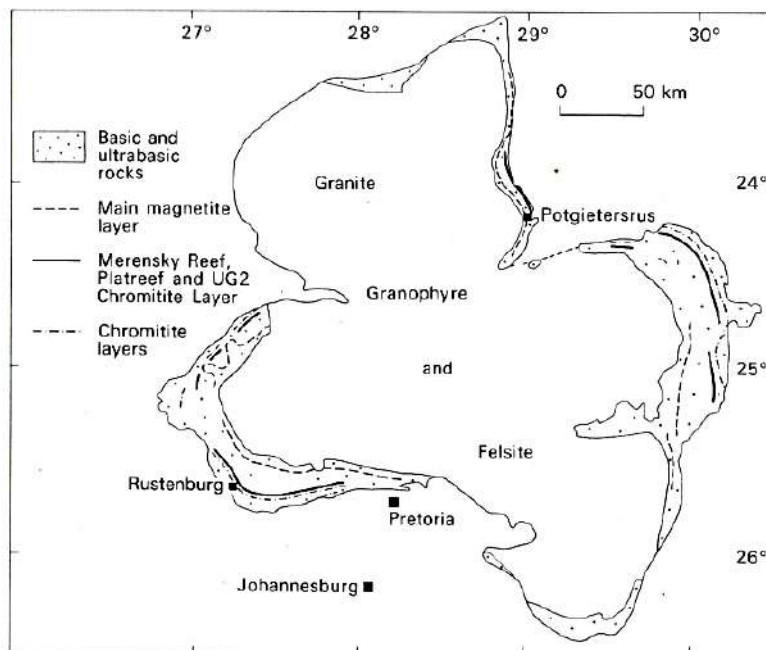


Рис. 22.7. Бушвелдский магматический комплекс в ЮАР (схематический план) (After van Gruenewaldt, 1977)

Разрез через Мойхукскую платиновую трубку

В Бушвелдском массиве в районе Линденбурга известны крутопадающие трубообразные залежи платиноносных дунитов, секущих стратифицированные породы комплекса. Залежи имеют диаметр от 10 до 100 м и прослеживаются на глубину до 300 м. Они имеют концентрическое строение.

Центральная зона в форме столба сложена гортонолитовым дунитом. Она окаймляется мощной оболочкой оливинового дунита, которая, в свою очередь, окружена

пироксенитом. Платинометалльное оруденение приурочено к центральной зоне. В состав руд входят железистый оливин, в подчиненном количестве флогопит, роговая обманка, диаллаг, ильменит, магнетит, хромит и платиноиды.

Содержание платиноидов от 2 до 30 г/т, достигая 60 г/т и более там, где благодаря крупным кристаллам роговой обманки и биотита по рода становится пегматоидной. При это содержание возрастает снизу вверх и к центру рудоносных трубок



Рис. 22.8. Геологическая карта Нижнетагильского платиноносного массива (по Н.И. Высоцкому) 1 – дуниты; 2-3 – аподунитовые породы: 2 – серпентиниты; 3 – аналоги пироксенитов; 4 – габбро-диориты; 5 – апогаббровые и аподиоритовые амфиболиты; 6 – уралитизированное габбро; 7 – слюдяные сланцы; 8 – кристаллические сланцы; 9 – известняки; 10 – четвертичные отложения; 11 – отработанные россыпи платины и золота

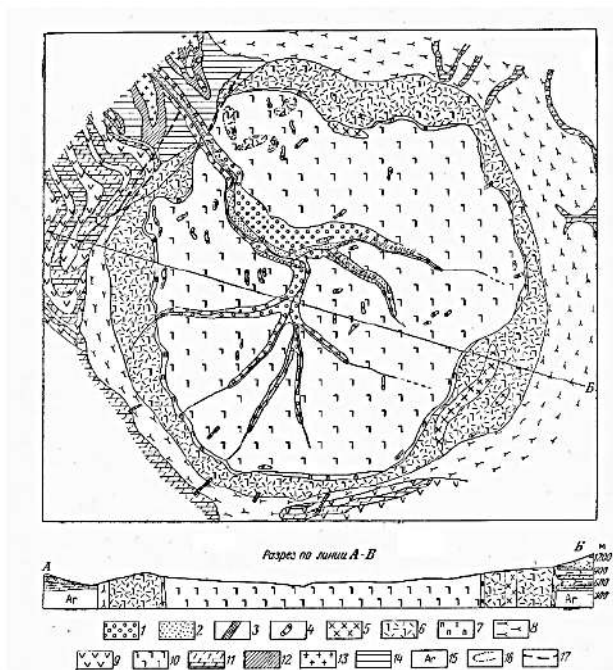


Рис. 22.9. Схематическая геологическая карта Инаглинского платиноносного массива (по Е. Максимова и др.) 1 – аллювиальные отложения; 2 – Pt- россыпь; 3 – альбититы; 4 – щелочные пегматиты; 5 – пуласкиты; 6 – аподунитовые породы: аналоги пироксенитов, шонкинитов и меланократовых елочных сиенитов; 7 – аподунитовые бесполовошпатовые породы: аналоги пироксенитов и перидотитов; 8 – сиенитовые порфиры; 9 – диоритовые порфиры; 10 – дуниты; 11 – карбонатные породы; 12-14 – архейские породы: 12 – мигматиты; 13 – аляскитовые граниты; 14 – гнейсы и амфиболиты; 15 – архейские образования; 16 – контуры реликтов дунитов в аподунитовых породах; 17 – мезозойские разломы



Рис. 22.10. Распределение подтвержденных запасов МПГ по странам мира на 2009 год, %



Рис. 22.11. Мировое производство МПП из руд и концентратов

Заключение

- Все благородные металлы (Au, Ag, PGE) в нашей стране постановлением правительства РФ отнесены к стратегическому минеральному сырью.
- РФ располагает весьма значительной МСБ благородных металлов, занимая по сумме общих и разведанных запасов лидирующее положение в мире: по Au и PGE вторые места (после ЮАР), а по Ag – третье (после Мексики и Чили).
- Золото остается одним из ведущих финансовых инструментов в мире; периоды экономических кризисов неизбежно сопровождаются ростом цен на золото, что предопределяет интенсификацию геологоразведочных работ на него и освоение его новых месторождений во многих странах мира.
- В странах-лидерах научно-технического прогресса (США, ЕС) металлы платиновой группы (МПП, PGE) являются критическим минеральным сырьем.
- Незаменимость серебра в ряде технических областей предопределяют устойчивый рост его потребления промышленностью. В настоящее время серебро - лидер среди материалов, используемых в нанотехнологиях.

Лекция 23

Фосфор (P)

Среднее содержание фосфора в земной коре немногим менее 0,1% (или 0,25% оксида фосфора P_2O_5). Наиболее высокие концентрации P_2O_5 отмечаются для магматических щелочных (0,6-1,0%) и основных (0,4%) пород, несколько меньше – в кислых породах (0,23%). Содержание P_2O_5 для осадочных пород колеблется в интервале 0,04-0,1%.

Фосфатное сырье представлено двумя главнейшими типами руд: апатитовыми и фосфоритовыми; в первых апатит образует яснокристаллический агрегат, во-вторых – фосфаты кальция из группы апатита представлены скрыто- или микрокристаллическими образованиями.

Месторождения апатитов 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.

Гуано – продукты выделений морских птиц, приуроченные главным образом к островам и прибрежным районам низких широт. Свежие экскременты содержат около 22% N и 4% P_2O_5 . В результате их быстрого разложения доля фосфата возрастает, а азота уменьшается. Современное гуано содержит 10-12% P_2O_5 , а выщелоченное – 20- 32%. Последнее состоит в основном из монетита H_4CaPO_4 , витлокита $Ca_3(PO_4)_2$ и др. Крупнейшие месторождения гуано имели первоначальные запасы в сотни тыс. т; большинство их уже выработано.

Монацит – $(Ce, La, Nd, Th)PO_4$

Ксенотим – YPO_4

Апатиты

Апатиты – $Ca_5[PO_4]_3(F, Cl, OH)$

• Промышленные концентрации апатита в земной коре устанавливаются среди магматических, контактово-метасоматических, карбонатитовых (сложных магматически- метасоматических), гидротермальных, метаморфических и экзогенных (коры выветривания) образований.

• Апатитовые руды разнообразны. По своему минеральному составу они подразделяются на силикатно-оксидные, силикатные, карбонатно-силикатные, карбонатные и гидросиликатно- гидроксидные.

• По средним содержаниям P_2O_5 (мас. %) среди них выделяют убогие (до 4%), бедные (4- 8%), средние (8-16%) и богатые (свыше 16%).

- В зависимости от минерального состава апатитовые руды могут быть легко-, удовлетворительно- и труднообогатимыми. В первых извлечение P_2O_5 в апатитовый концентрат превышает 90%, во-вторых – находится в пределах 70-90%, в-третьих – составляет менее 70%. Наиболее легко обогащаются силикатные (апатит-нефелиновые и др.) руды, наиболее трудно – карбонатные и гидросиликатно-гидрооксидные.

- Для обогащения методом флотации размер зерен апатита в рудах должен быть не менее 40 мкм. Апатитовый концентрат с содержанием P_2O_5 более 35% может быть получен практически из всех минеральных типов руд. В комплексных рудах апатит может присутствовать либо как один из главных компонентов, либо как второстепенный компонент, либо как сопутствующая (обычно незначительная) примесь.

- Главнейшими геолого-промышленными типами месторождений, с которыми связаны подавляющая часть запасов и добычи этого сырья, являются апатит-нефелиновый в агпайтах, апатит-редкометалльно-магнетитовый (и апатит-редкометалльный) в карбонатитах и апатит-франколит-редкометалльный в корях выветривания карбонатитов.

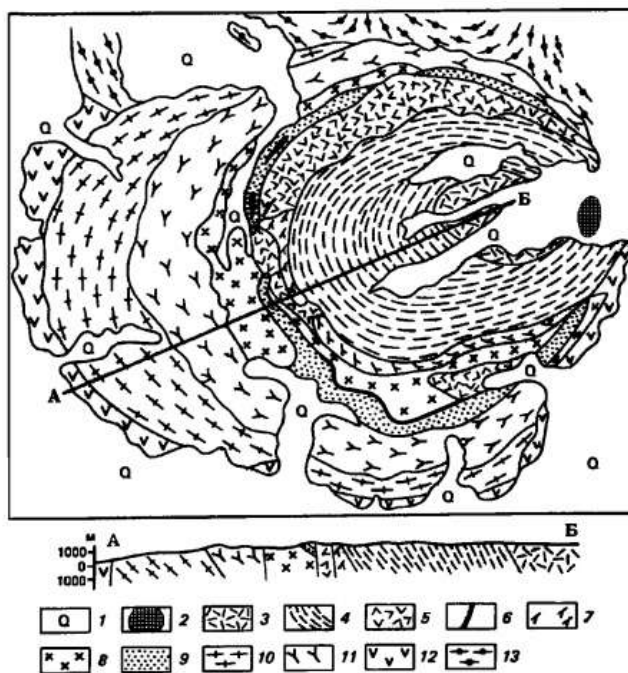


Рис. 23.1. Хибинский щелочной массив (по С.И. Заку, Е.А. Каменеву, Ф.В. Минакову) 1 - четвертичные отложения; 2 - карбонатиты; 3 - фойяиты массивные; 4 - фойяиты трахитоидные; 5 - лявочорриты; 6 - апатит-нефелиновые и сфен-апатитовые руды; 7 - рисчорриты биотитовые; 8 - рисчорриты эгириновые; 9 - ийолит-уртиты; 10 - хибиниты массивные; 11 - хибиниты трахитоидные; 12 - зеленые и другие сланцы, габбро-диабазы, диабазы среднего протерозоя в приконтактовой части, местами ороговикованные; 13 -

гнейсовидные диориты и биотитовые гнейсы архея в приконтактовой части, местами фенитизированные

Руды апатит-нефелинового состава со сфеном, эгирином, итаномagnetитом; среднее содержание в них P_2O_5 14-17%. Масштабы оруденения от весьма значительных до мелких (месторождения Хибинского щелочного массива: Кукисвумчорр, Юкспор, Коашва, Олений ручей и многие другие).



Рис. 23.2. Геологическая схема Ковдорского массива (по В.И. Терновому, Б.В. Афанасьеву, Б.И. Сулимову и др.)

Магматические месторождения апатит-редкометалльно-магнетитового (апатит-редкометалльного) типа связаны с многофазными зональными концентрическими и линейными интрузивами щелочно-ультраосновных пород и карбонатитов, образуя в них крупные штоко-, трубо-, линзо- и дайкообразные тела и жильно-штокверковые зоны изменчивой мощности и различной протяженности с незакономерным расположением в них различных типов руд. Эти тела выполняют кольцевые, конические, дуговидные, радиальные и линейные разломы и трещины в составе карбонатитовых комплексов. В апатит-редкометалльно-магнетитовых (апатит-редкометалльных) рудах обычно присутствуют флогопит, а также карбонаты, форстерит, диопсид и другие минералы. Средние содержания P_2O_5 3-8%. Масштаб оруденения (относительно P_2O_5) от весьма крупного до среднего (месторождения Ковдорское, Ессейское, Нижнесаянское и др. из различных регионов России, Сиилинярви, Сокли в Финляндии и др.)

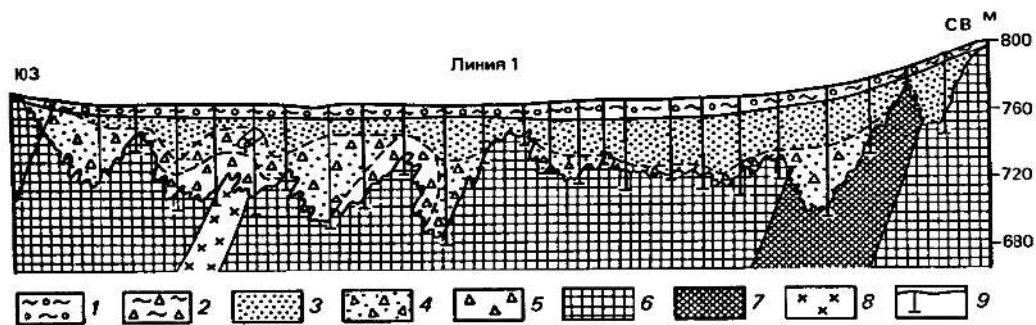


Рис. 23.3. Геологический разрез апатитовой коры выветривания Белозиминского массива (по В.Г. Кузнецову). 1 – аллювий; 2 – делювий; 3 – карбонатная охра; 4 – обохренная «сыпучка»; 5 – необохренная «сыпучка»; 6 – карбонаты кальцитовые; 7 – карбонаты анкеритовые; 8 – ийолиты; 9 – скважины

В разрезе коры выделяются нижняя зона карбонатной сыпучки и верхняя зона охр. В составе этих двух зон коры выветривания выделяют три продуктивных горизонта: верхний – охристый (среднее содержание P_2O_5 13,7%), промежуточный – обохренной сыпучки (P_2O_5 9,8%) и нижний - необохренной сыпучки (P_2O_5 около 5%). Подавляющая часть разведанных запасов оксида осфора сосредоточена в охристом горизонте, выделяемом в центральной части месторождения в виде пластообразной залежи сложного строения; фосфаты здесь представлены слабо измененными фторапатитом и в меньшей степени переотложенным франколитом с преобладающим размером зерен менее 0,25 мм. (Экзогенный апатит-франколит (карбонат-фторапатит) - редкометалльный тип)

Фосфориты

- Среди промышленных скоплений (залежей) фосфоритов различают микрозернистые, зернистые, желваковые, ракушечные, галечниковые, а также рыхлые и каменистые в корях выветривания, связанные с определенными формациями горных пород. В мировом балансе запасов фосфоритов резко преобладают зернистые руды (свыше 60%), доля микрозернистых - около 30%, а желваковых – около 7%.

- Микрозернистые руды** состоят из мельчайших (0,01-0,1 мм) фосфатных зерен – оолитов, сцементированных фосфатно-карбонатным или фосфатно-кремнистым микрокристаллическим веществом. Главный фосфатный минерал – франколит, помимо которого, как в оолитах, так и в цементе фиксируются кварц, халцедон, кальцит, доломит, гидрослюды и др. минералы. Сод. P_2O_5 21-28%. Макроскопически они напоминают окремелые известняки, доломиты, яшмы, кремни и другие породы. Такие фосфориты характерны для древних геосинклинальных фосфоритоносных бассейнов (Саянский в России, Каратауский в южном Казахстане, Фосфория в США, Джорджина в Австралии и др.) в полях развития кремнистой и кремнисто-карбонатной осадочных формаций.

- **Зернистые руды** сложены округлыми фосфатными зернами (пеллетами, оолитами и пр.) и фосфатными органическими обломками размером от 0,1 до 10 мм, сцементированными скрытокристаллическими фосфатами (франколитом), кварцем, халцедоном, кальцитом и др. минералами. Сод. P_2O_5 23-32%. Нередко в этих рудах в качестве попутных компонентов присутствуют U и V. Внешне напоминают разнозернистые светлоокрашенные песчаники. Наиболее широко они развиты в крупнейшей Североафриканской провинции, входя в состав верхнемеловых-палеогеновых карбонатных и терригенно-карбонатных формаций. Такие фосфориты найдены в Центральном-Кызылкумском районе Узбекистана.

- **Желваковые фосфориты** состоят из конкреций, стяжений фосфатного вещества, фосфатизированных органических остатков размером 0,5-5 см, иногда до 15 см. Вмещающий материал – глауконит-кварцевые пески, глины, аргиллиты. Иногда такие желваки-конкреции срастаются, образуя фосфоритную плиту. По составу выделяют глинистые и песчаные желваки. Фосфатный материал – курсит. Сод. P_2O_5 в исходной руде 8-14%, в первичном концентрате (желваки) – 16-22%. Это платформенные образования, связанные с терригенной глауконитовой формацией. Наиболее широко они развиты среди верхнеюрско-нижнемеловых осадочных толщ Восточно-Европейской платформы (Вятско-Камское, Егорьевское и др. месторождения).

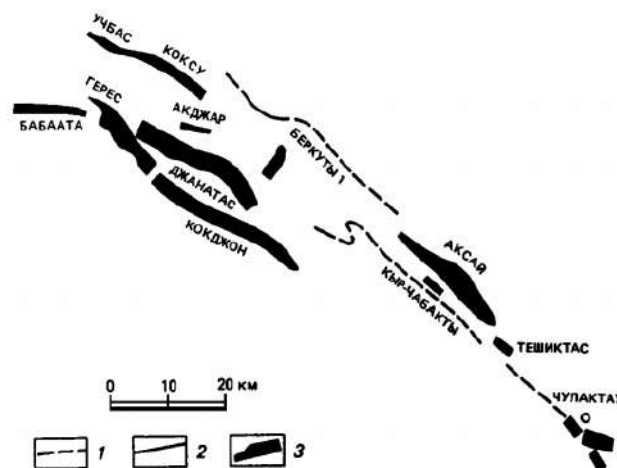


Рис. 23.4. Схема размещения выходов пласта микрозернистых фосфоритов в хр. Мал. Каратау (по Г.И.Бушинскому). Мощность фосфоритового пласта с сод. P_2O_5 выше 25%: 1 – до 1 м; 2 – 1-5 м; 3 – более 5 м

Продуктивная кремнистокарбонатная чулактауская свита (Pz1) мощностью 50-100 м подразделяется на 4 горизонта: нижних доломитов, кремневый, продуктивный и железистых доломитов (или железо-арганцевый). Продуктивный горизонт мощностью до 65 м в свою очередь подразделяется на нижнюю фосфоритную (фосфоритовые руды), среднюю фосфатно-сланцевую (фосфатные глинисто-кремнистые сланцы) и верхнюю фосфоритную пачки

ВОЗРАСТ	средняя мощность м	КОЛОНКА	ПОРОДЫ
Q	5.62		ПЕСКИ И СУГЛИНКИ
K _{1v}	2.66		ПЕСКИ КВАРЦЕВЫЕ, СЛЮДИСТЫЕ, МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ
K _{1v}	0.0-0.4 0.38		ГЛИНА, ПЕРЕХОДЯЩАЯ В ФОССЛОЙ
J ₃ v v	0.62		ФОСФОРИТНАЯ ПЛИТА
J ₃ v v	0.30		фосфатные желваки в глауконитовом песке
J ₃ v v J ₃ p v	2.51		ПЕСКИ ГЛАУКОНИТОВЫЕ С РЕДКИМИ ЖЕЛВАКАМИ ФОСФОРИТА, ВНИЗУ С ПРОСЛОЙКАМИ ФОСФОРИТА И ГЛИНЫ
J ₃ p v	0.27		ФОСФОРИТНЫЙ СЛОЙ
J ₃ сх			ГЛИНА ЧЕРНАЯ СЛЮДИСТАЯ

Рис. 23.5. Стратиграфо-литологический разрез пород Егорьевского месторождения желваковых фосфоритов (по материалам Егорьевской ГРП)

В состав продуктивной форитной серии входят породы волжского яруса (Рис. 23.5) верхней юры и рязанского горизонта нижнего мела. Она включает нижний и верхний фосфоритные слои (горизонты), разделенные пачкой кварцево- глауконитовых песков. Нижний фосслой представлен желваковыми фосфоритами и фосфатизированными аммонитами, сгруженными в темной глине, переходящей вверх в кварцево- глауконитовый песок. Мощность слоя не превышает 0,8 м, составляя в среднем 0,27 м. Верхний фосслой также сложен желваковыми фосфоритами, сгруженными в глинистом кварцево- глауконитовом песке с фауной пелеципод и аммонитов. В верхней части слоя желваки нередко сцементированы песчано-фосфатным ожелезненным материалом с образованием плиты.

Соли

В химии к минеральным солям относят соединения, образованные в результате замещения атомов водорода в молекуле какой-либо кислоты атомами металла.

В геологии понятие «минеральные соли» (и соответственно «месторождения солей») применяют лишь для хлоридов и сульфатов Na, K, Mg, Ca, карбонатов Na, нитратов K и Na, а также сравнительно редких боратов, бромидов и йодидов.

Соли в земной коре связаны главным образом с ее осадочной частью, встречаясь либо в виде минералов кристаллического строения, либо в виде водных растворов. Они могут слагать значительные массы специфических горных пород (галолитов), или находиться в рассеянном (твердофазовом или жидком) состоянии.

Главнейшие промышленные минералы солей

1. Хлориды Na, K, Mg

Галит, Бишофит, Карналлит, Сильвин, Бишофит

2. Сульфат и хлоридо-сульфаты Na, Ca, Mg, K

Кианит, Лангбейнит, Глауберит, Глазерит, Тенардит, Кизерит, Полигалит, Астраханит, Мирабилит, Эпсомит

3. Карбонаты, гидрокарбонаты, хлоридо-карбонаты, хлоридо-сульфаты

Ганксит, Натрон (сода), Нахколит, Нортупит, Трона

Главнейшие геолого-промышленные типы месторождений Na, K, K-Mg солей

1. Современные месторождения, связанные с морскими и континентальными соляными озерами
 - 1.1.– хлоридные (NaCl , MgCl_2) – оз.Баскунчак, оз. Эльтон
 - 1.2. – сульфатные (NaSO_4 , NaCl , MgSO_4 , MgCl_2) – оз. Джаксы-КЛыч, оз. Кучук, Кара-Богаз-Гол
 - 1.3.Карбонатные (Na_2CO_3 , NaHCO_3) – оз.Серлз
2. Ископаемые месторождения каменной соли
 - 2.1.– пластовые тела среди сульфатных, карбонатных и терригенных пород – Славянско-Артемовское месторождение
 - 2.2. – соляные купола – Илецкое месторождение
3. Ископаемые месторождения калийно-магниевых хлоридных солей (сильвин, карналлит, галит) – Верхнекамский, Припятский, Саскачеванский и др. бассейны
4. Ископаемые месторождения сульфатных и сульфатно-хлоридных калийных солей (каицит, лангбейнит, сильвин, полигалит, кизерит) – Предкарпатский, Прикаспийский, Северо-Германский и др. бассейны.

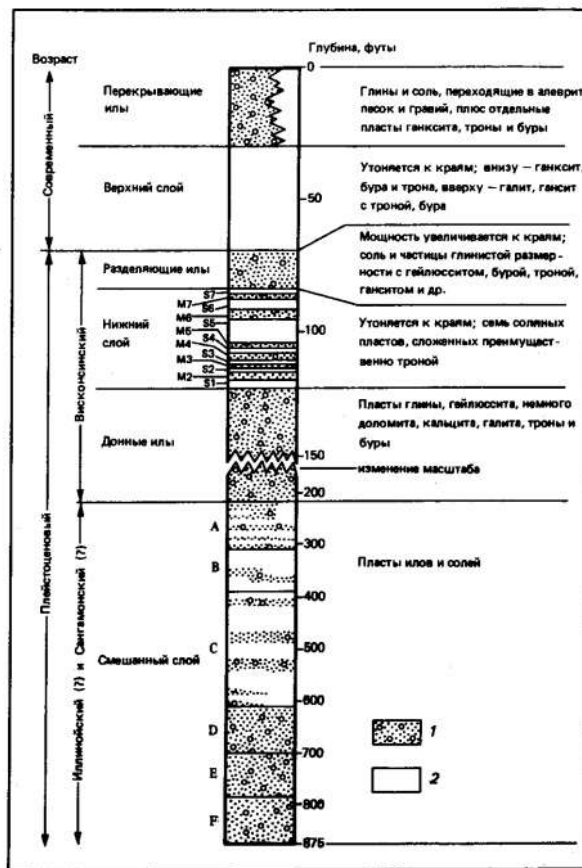


Рис. 23.6. Стратиграфическая колонка современных и плейстоценовых отложений оз. Сёрлз, Калифорния (по Керр-МакГи) 1 – илы; 2 – соли

Сухое озеро

Сёрлз (Рис. 23.6) находится в пустыне Мохаве приблизительно в 200 км к северо-востоку от ЛосАнжелеса. Плоское и безжизненное, оно вытянуто в меридиональном направлении на 16 км при ширине около 10 км, занимая площадь более 115 км².

Его поверхность сложена современными глинами и илами за исключением центральной части, где на площади около 15 км² обнажается каменная соль. Впадина озера выполнена 900-метровой толщей аллювия и континентальных эвапоритовых осадков, залегающих на кварцевых монцонитах. Верхняя, 270-метровая часть этой толщи наиболее детально изучена.

Ниже поверхностных илов и глин, фациально замещаемых каменной солью, чередующихся с алевроитом, песком, гравием и содержащих изолированные прослойки ганксита – $\text{Na}_2\text{K}(\text{SO}_4)(\text{CO}_3)_2\text{Cl}$, троны – $\text{Na}_2(\text{CO}_3) \cdot \text{Na}(\text{HCO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и буры – $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, залегает «верхний» соляной пласт мощностью от 10 до 27 м. Его мощность сокращается в краевых частях озера.

Нижняя часть пласта сложена ганкситом, бурой и тронной, а верхняя – существенно галитовая с меньшим содержанием этих минералов. Озеро Сёрлз – самый крупный источник природного сульфата натрия в США. Промышленные запасы одного

лишь борного ангидрида (B_2O_3) в рапе соляных пластов составляет 17 млн т, а твердых боратов ~ 100 млн т.

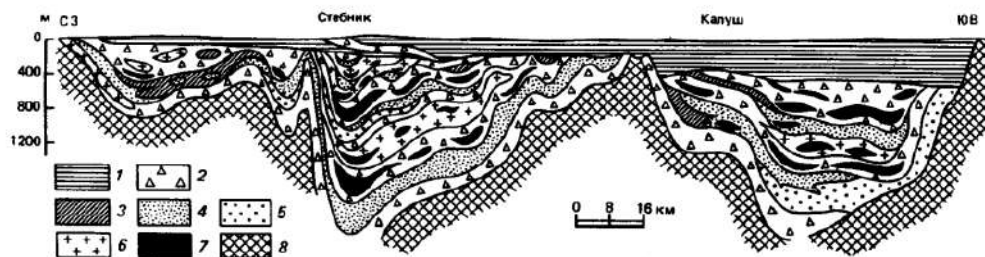


Рис. 23.7. Продольный фациально-литологический разрез отложений воротыщенской свиты внутренней зоны Предкарпатского прогиба (по К.Б.Донченко с упрощением). 1 - перекрывающие песчано-глинистые породы; породы соленосной формации: 2 - соленосные брекчи, 3 - глины, 4 - песчаники, 5 - гравелиты, 6 - каменная соль, 7 - калийные соли; 8 - подстилающие аргиллиты и песчаники

Объектом эксплуатации на Стебникском месторождении служат каинитовые, лангбейнитовые, лангбейнит-каинитовые и сильвинитовые руды с содержанием K_2O 10-12%, нерастворимого остатка – до 18%. Разработка ведется шахтным способом на глубинах 200-300 м.

Асбест

Термин «асбест» объединяет различные по своему составу и свойствам минералы: хризотил, крокидолит, амозит, антофиллит, иногда тремолит, актинолит, режикит (близок магнезиорибекиту и магнезиоарфведсониту), родусит (разновидность магнезиорибекита) и др., обладающие способностью разделяться на тонкие волокна.

Последние отличаются весьма высокой прочностью, эластичностью и прядильными свойствами, термостойкостью, низкой электропроводностью, кислото- и щелочестойкостью. По своей атомной структуре хризотил принадлежит к минеральной группе серпентина, а все остальные – к группе амфиболов.

Применение асбеста

- В промышленности используется волокно длиной более 0,5 мм высокой и пониженной прочности. Оно широко применяется в различных областях промышленности как в чистом виде, так и в соединении с другими материалами (цементом, тканями, картоном и др.). Номенклатура асбестовых изделий насчитывает свыше 3000 наименований.

- Основное количество хризотил-асбеста идет на производство всевозможных асбоцементных (трубы, кровельная плитка, шифер), асбестобитумных и асбестосмоляных изделий, как заполнителя при производстве асфальта и бетона, изготовление различных фрикционных прокладок, дисков сцепления, трансмиссионных и приводных ремней, всевозможных картонно-бумажных изделий. Хризотил-асбест, не содержащий железа, является электроизолятором и используется в промышленности. Лучшие длиноволокнистые сорта хризотил-асбеста применяются в текстильной

промышленности. Наиболее качественное волокно идет на изготовление фильтров. Низкосортный коротковолокнистый асбест используется в черной металлургии как связующий материал при производстве железорудных окатышей.

• Крокидолит и амозит широко используются в химической промышленности для производства различных кислото- и щелочестойких изделий. Их длиноволокнистые сорта являются текстильным сырьем. Крокидолит – хороший фильтрующий материал для очистки воздуха от радиоактивной пыли. Он также весьма эффективен в производстве асбоцементных труб, выдерживающих высокое давление. Амозит находит широкое применение в производстве изоляционных материалов. Основные области потребления антофиллит-асбеста – изготовление кислотостойких фильтров, прокладок и пластмасс.

Главнейшие промышленные минеральные виды асбеста:

Хризотил, крокидолит, амозит, антофиллит-асбест

Главнейшие геолого-промышленные типы месторождений асбеста

1. Линзо- и трубообразные залежи и жилы с хризотиловой минерализацией в серпентинизированных альпинотипных и стратиформных ультрабазитах (Баженовский подтип: Баженовское, Киембаевское, Джетыгаринское, Молодежное, Актотракское, Саянское; Лабинский подтип: Лабинское, Нью-Амиантус в ЮАР; Карачаевский подтип: Карачаевское, Ешкеульмесское, Буйнакское, Ист-Брутон в Канаде).

2. Пластовые и жиллообразные зоны серпентинизации с хризотиловой минерализацией в метаморфизованных магниезальных карбонатных толщах (Аспогашский или Аризонский тип: Аспогашское, Вангырское, месторождения штата Аризона в США, месторождения КНР, КНДР, ЮАР).

3. Пластовые жилы с крокидолитом и амозитом в породах типа железистых кварцитов и яшм близ контактов с доломитами (месторождения в Трансваале и Капской провинции ЮАР, месторождения Зап. Австралии).

4. Гнездо-, жилло- и штокообразные тела с антофиллит-асбестовой минерализацией в метаморфизованных ультрабазитах амфиболито-гнейсовых куполов (Сысертское, Бугетысайское, месторождения Финляндии, США, Египта, Сьерра-Леоне и др.)

Примеры месторождений

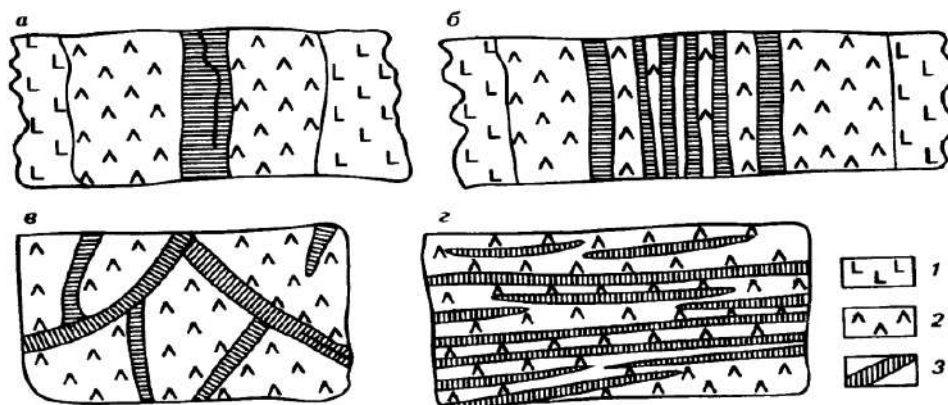


Рис. 23.8. Типы жилкования хризотил-асбеста (текстуры). а - простая отороченная жила, в центре жилы видна просечка; б - сложная отороченная жила; в - руда типа мелкой сетки; г - руда мелкопрожильная. 1 - гарцбургит, 2 - серпентинит, 3 - жилки хризотил-асбеста

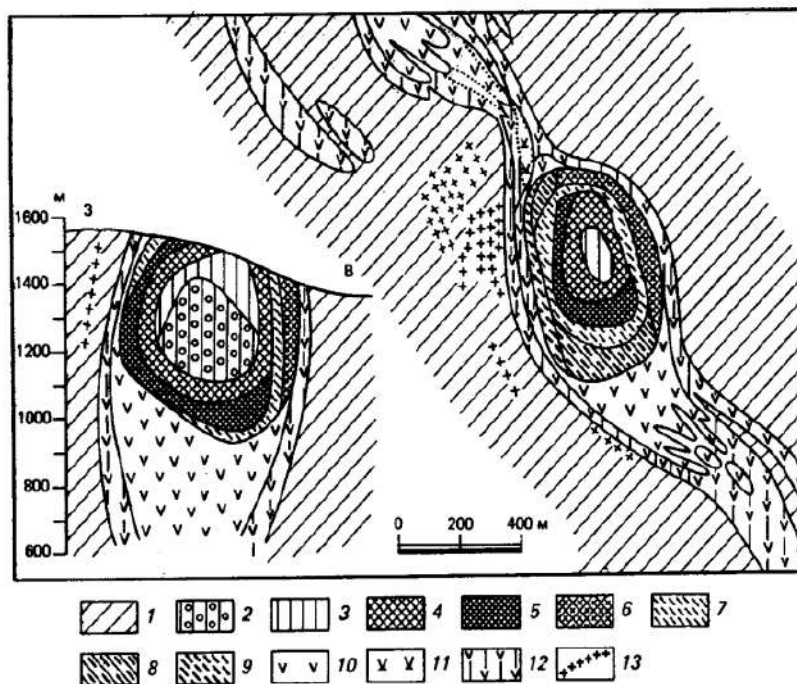


Рис. 23.9. Геологическая карта и разрез Молодежного гипербазитового массива (по К.Г. Башта). 1 - келянская толща (сланцы хлорит-серицит-кварцевые, эпидот-альбит-хлоритовые, кварц-карбонатные, реже рассланцованные эффузивы); 2 - серпентинизированные гарцбургиты и серпентиниты с асбестоносностью типа бедных отороченных жил (ядро); 3 - серпентинизированные гарцбургиты и серпентиниты с асбестоносностью типа простых отороченных жил; 4 - серпентиниты и серпентинизированные гарцбургиты с асбестоносностью типа крупной сетки; 5 - серпентиниты с асбестоносностью типа мелкой сетки; 6 - серпентиниты периферийной зоны с асбестоносностью типа мелкой сетки; 7 - серпентиниты с асбестоносностью типа ориентированных просечек; 8 - серпентиниты

смешанной зоны с асбестоносностью типа ориентированных и сетчатых просечек; 9 - серпентиниты с асбестоносностью типа сетчатых просечек; 10 - голубовато-серые груборассланцованные серпентиниты; 11 - серовато-зеленые груборассланцованные карбонатизированные серпентиниты; 12 темно-зеленые интенсивно рассланцованные карбонатизированные и серпофитизированные серпентиниты; 13 - дайки гранит-порфиров Качойского интрузивного комплекса

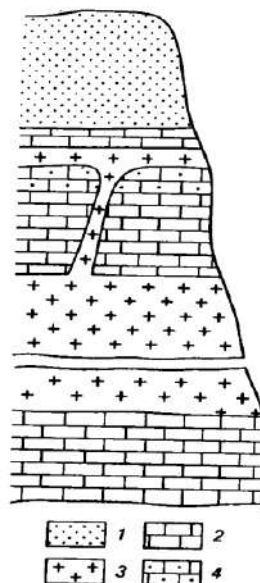


Рис. 23.10. Схематический разрез Аризонского месторождения хризотиласбеста (по Б.Я. Меренкову и М.В. Муратову) 1 - песчаник; 2 - известняк; 3 - диабаз; 4 - серпентинит (с асбестом)

Вдоль южного обрамления плато Колорадо штата Аризона (США) локализованы многочисленные небольшие месторождения маложелезистого хризотил-асбеста. Геологически эти месторождения связаны с докембрийской формацией Мескальских доломитизированных известняков в участках ее осложнения интрузией диабазовых силлов. В составе известняков - обильные стяжения и нодулы кремней.

Рудные тела представляют собой субгоризонтальные залежи асбестоносных серпентинитов мощностью 20-65 см в приконтактных частях доломитизированных известняков с диабазовыми силлами (рис.). Иногда несколько таких тел сближены, образуя единую зону мощностью в несколько м. В плане такие зоны имеют эллиптическую форму размером в десятки-первые сотни метров в поперечнике.

Тела серпентинитов содержат серию параллельных жилков и прожилков поперечно-волокнистого хризотил-асбеста, отстоящих друг от друга на 3-15 см. Протяженность таких жилков может достигать нескольких метров, а их мощность – нескольких см.

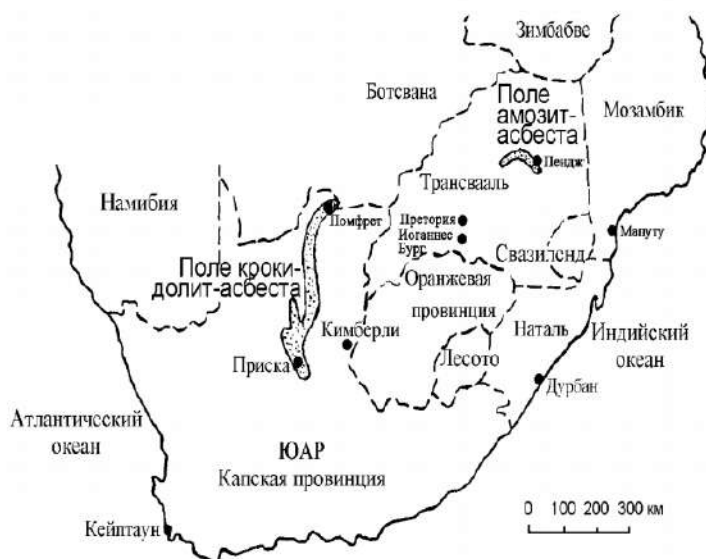


Рис. 23.11. Поля развития амфибол-асбестов в ЮАР (по П.В.Харбену и Р.Л.Бейтсу с упрощениями)

Основные запасы амозита сосредоточены в Трансваале - в пределах обширного рудного поля, представляющего дугообразную, вытянутую на 100 км полосу, окаймляющую северо-восточное окончание Бушвелдского магматического комплекса.

Основные запасы крокидолита находятся в Капской провинции; они связаны с вытянутой на 400 км и шириной 45 км субмеридиональной полосой пород той же Трансваальской супергруппы докембрия от Приска (р. Оранжевая) на юге через Грикватаун и Кураман до границы с Ботсваной на севере

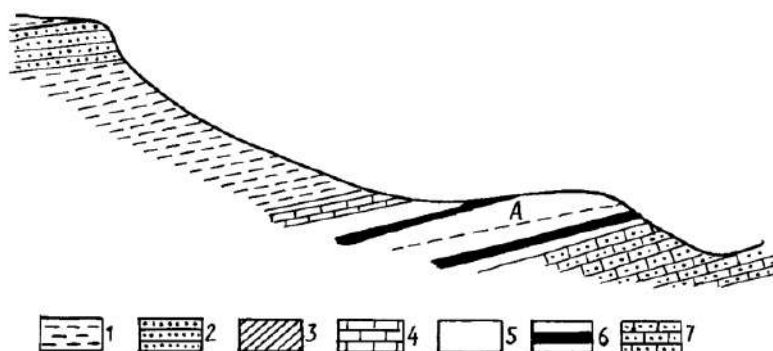


Рис. 23.12. Схематический геологический разрез месторождения амфибол-асбеста в Южной Африке (по Б.Я.Меренкову, М.В.Муратову). 1 – метаморфические сланцы; 2 – кварцит; 3 – конгломерат; 4 – доломит; 5 – железистый кварцит; 6 – диабаз (пластовые залежи); 7 – главная доломитовая серия; А – главный асбестоносный горизонт

Слюда

Слюды представляют группу сложных алюмосиликатов щелочных и щелочноземельных металлов, обладающих рядом специфических особенностей. Все они кристаллизуются в моноклинной сингонии, обладают совершенной спайностью по пинакоиду [001], что позволяет расщеплять их на тончайшие гибкие эластичные пластинки; их окраска варьирует от бесцветной до зеленовато-коричневой, почти черной, плотность 2,7-3,1 г/см³; твердость 2-3. Несмотря на широкое распространение в природе различных слюд, в том числе биотита (магнезиально-железистая слюда), лепидолита, циннвальдита (литиевые слюды) и других, наибольшее промышленное значение имеют мусковит (калиево-алюминиевая слюда) и флогопит (калиево-магнезиальная слюда).

Помимо собственно слюд (мусковита и флогопита) большое промышленное значение имеет гидрослюда – вермикулит

Промышленное использование слюд

Основными потребителями листовой слюды являются электропромышленность, радио- и телетехника, электроника и др. (85-90%). Это всевозможные электро- и теплоизолирующие прокладки в различных электронных приборах, крепежные детали, диэлектрические основы телевизионных трубок, вакуумных и полупроводниковых приборов, элементы в электростатических запоминающих устройствах ЭВМ и пр. В меньшем количестве (около 10%) она используется в качестве вставок в окна плавильных печей, бытовых приборов, в очках. Тонкие листочки щипаной слюды склеиваются между собой с помощью изолирующего клея и используются как более дешевый изолятор (так называемые миканиты: микафолии, микаленты, микалексы, слюдопласты).

Товарный скрап, дробленая, молотая слюда и чешуйки применяются для производства слюдинита и слюдопласта как заменителей миканитов, а также для изготовления огнестойких материалов, точильных камней, красок, смазок, в производстве обоев, цемента, пластмасс, рубероида и кабелей, как наполнитель в резине, в качестве инертных наполнителей буровых и цементных растворов и др.

Вспученный вермикулит широко используется в строительстве как наполнитель звуко- и теплоизоляционных штукатурок, и легких бетонов. Его фильтрующие и сорбционные свойства находят применение для очистки промышленных вод и улавливания газов. В измельченном виде вспученный вермикулит является хорошим наполнителем кислотостойких масс, огнеупорного картона и бумаги, пластмасс, резины, красок и лаков, удобрений и ядохимикатов. Он добавляется в почву для улучшения ее структуры и аэрационных свойств.

Главнейшие промышленные слюды:

Мусковит, Флогопит, вермикулит

Мировые геолого-промышленные типы месторождений слюд:

1. Тела аляскитовых гранитов с рассеянной чешуйчатой мусковитовой минерализацией (Спрус Пайн в США и др.).

2. Тела мусковитоносных плагиоклазовых и плагиоклаз-микроклиновых гранитных пегматитов в древних высокометаморфизованных толщах с неравномерной минерализацией крупнокристаллического мусковита (Мамско-Чуйские и Карело-Кольские месторождения в России, месторождения Индии, Бразилии, Зимбабве).

3. Залежи крупнокристаллического флогопита (в ассоциации с оливином, диопсидом, магнетитом, кальцитом) в карбонатитовых комплексах ультраосновных-щелочных пород (Ковдор, Гулинское, Маган и др. в России, Лулекоп в ЮАР, Якупиранга в Бразилии и др.).

4. Залежи крупнокристаллического флогопита (в ассоциации с диопсидом, кальцитом, апатитом, шпинелью) среди диопсидовых и др. сланцев, доломитов, кальцифиров в составе высокометаморфизованных гранито-гнейсовых комплексов (Слюдянка, месторождения Алдана, Памира, Канады).

5. Залежи вермикулита в корях выветривания слюдоносных ультраосновных и ультраосновных-щелочных пород (Либби в США, Ковдор в России).

Примеры месторождений



Рис. 23.13. Районы распространения слюдоносных пегматитов Индии (по Р. Бейтсу)

Индия является лидирующей страной в мире по добыче листовой слюды (мусковита). Она дает большую часть этого сырья, поступающего на мировой рынок. Месторождения мусковита сосредоточены в трех главнейших рудных районах: Бихар (около 60% национальной добычи), Андхра-Прадеш (около 25%) и Раджастан (более

12%). За исключением небольшого количества флогопита, добываемого в районе Андхра-Прадеш, здесь получают исключительно мусковит, который по цвету разделяют на рубиновую и зеленую разновидности. Первая предпочтительнее для использования в электротехнической промышленности, вторая – в оптической.

Геологическая позиция месторождений в указанных районах идентична: все они представляют собой пегматитовые тела, ассоциирующие с гранитами, прорывающими Архейские гнейсы и кристаллические сланцы Индийского щита

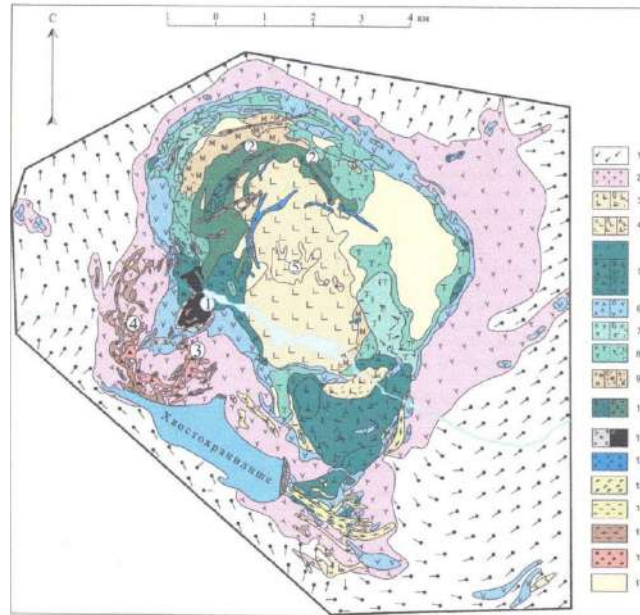


Рис. 23.14. Геологическая карта Ковдорского массива Месторождения (цифры в кружках): 1 – апатит-магнетитовое; 2 – вермикулитфлогопитовое; 3 – апатит-штаффелитовое; 4 – бадделеит-apatитмагнетитовое; 5 – рудных оливинитов Условные обозначения: 1 – гнейсы, амфиболиты и мигматиты; 2 – фениты; 3,4 – оливиниты; 5 – пироксениты 6 – нефелин-пироксеновые и др. породы; 7,8 – турьяиты, пироксен-мелилитовые и др. породы; 9-16 – монтичеллитовые, форстеритовые и многие др. породы и руды

Ковдорское месторождение флогопита и вермикулита

Промышленная зона флогопит-диопсид-оливиновых пород с крупнокристаллической слюдой огибает с севера оливинитовое ядро в виде подковы длиной 8-10 км и мощностью до 1 км. В составе пород этой зоны флогопит, оливин и диопсид, составляющие до 95%, находятся в разных соотношениях. Флогопитовые рудные тела в этой зоне имеют линзовидную и жиллообразную формы; самое крупное из них – Главная залежь – пологопадающая на северо-запад слепая линза мощностью 10-100 м, прослеживающаяся на несколько сотен м. Центральная часть Главной залежи мощностью до 20 м сложена пегматоидными и гигантозернистыми флогопит-оливиновыми породами, а ее краевые (периферические) части мощностью 5-20 м - пегматоидными флогопит-диопсидовыми либо мономинеральными флогопитовыми и диопсидовыми образованиями.

Флогопит в рудах распределен неравномерно: он образует практически мономинеральные гнезда, крупные кристаллы, карманы размером до 10-20 м. Промышленный флогопит – темно-зеленый, железистый в виде толстотаблитчатых кристаллов нередко мозаичного строения, с обилием пятен, закрытых участков расслоения, волокнистостью и трещиноватостью, мелкими включениями апатита, кальцита, диопсида и магнетита. Наиболее крупные кристаллы могут достигать размеров в несколько метров.

Промышленная вермикулитовая залежь месторождения связана с линейно-площадной корой выветривания флогопит-диопсид-оливиновых пород (флогопитовый комплекс) и в меньшей степени флогопитсодержащих оливинитов. Максимальная мощность коры (свыше 100 м) устанавливается в центральной части массива, вдоль пересекающего его разлома. В разрезе коры выделяются три зоны (сверху вниз): сунгулит-гидрохлоритовая, вермикулитовая и гидрофлогопитовая; ниже следует зона дезинтеграции флогопит-диопсид-оливиновых пород. Содержание вермикулита варьирует от 5 до 30%. Руды с содержанием вермикулита более 20% считаются богатыми при условии, что свыше 70% вермикулитовых чешуек имеют размер более 0,5 мм. Вермикулитовые и гидрофлогопитовые руды обогащаются хорошо с получением вермикулитового концентрата 90-98%.

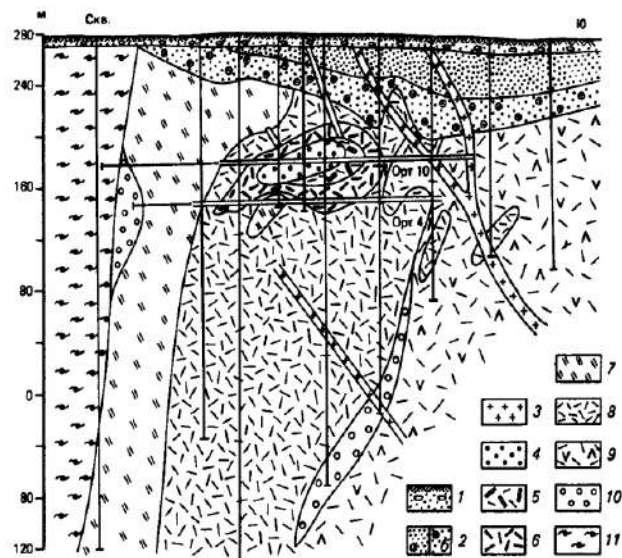


Рис. 23.15. Геологический разрез через Главную флогопитовую залежь Ковдорского месторождения (по Б.В.Афанасьеву и Б.И.Сулимову). 1 - четвертичные отложения; 2 - кора выветривания слюдоносных пород (зоны: а - вермикулитовая, б - гидрофлогопитовая); 3 - дайки полевошпатовых ийолитов; 4 - оливиновые породы 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 - меллитовые породы; 11 - гранатовые скарны

Лекция 24

Углерод

Помимо широко распространенных в природе соединений с кислородом (карбонатов) и с водородом (углеводородов), углерод присутствует в самородном виде, образуя две полиморфные разновидности – графит и алмаз, идентичные по своему составу, но резко отличающиеся по структуре и физическим свойствам.

Графит

- Графит кристаллизуется в гексагональной сингонии; его слоистая кристаллическая структура характеризуется весьма крепкой ковалентной гомеоплярной связью атомов углерода в пределах слоя (расстояние между соседними атомами 0,141 нм), но весьма слабой межслоевой молекулярной Ван-дер-Ваальсовской связью (расстояние между слоями 0,335 нм).

- Особенность строения кристаллической решетки графита, включая наличие в ней свободных электронов, и обуславливает его физические свойства: весьма совершенную спайность в базальной плоскости, низкую твердость (около 1) вдоль нее, но достаточно высокую в перпендикулярном направлении (около 5,5), низкий коэффициент трения, высокую электропроводность, близкую к металлам, металлический блеск, непрозрачность и др.

- Важное промышленное значение имеют также высокая теплопроводность (выше, чем у меди и алюминия), огнеупорность (температура плавления 3800-3900°C), химическая инертность (растворяется лишь в расплавленных силикатах или металлах, образуя карбиды), гидрофобность, исключительно высокая жирность и пластичность, обусловленные легкой расщепляемостью по спайности и способностью прилипать к твердым поверхностям с образованием на них тонких пленок (высокая кроющая способность).

Природные разновидности:

1. кристаллический чешуйчатый графит - рассеянные чешуйки либо их листоватые агрегаты; по диаметру кристаллов разделяется на крупночешуйчатый (0,1- X,0 мм) и мелкочешуйчатый (0,001-0,1 мм);
2. кристаллический кусковый графит - плотные зернистые агрегаты; размер кристаллов тот же, что и в мелкочешуйчатом, однако они не ориентированы, что затрудняет расщепление агрегата и сдвиги при деформации;
3. скрытокристаллический или аморфный графит - плотные скрытокристаллические массы (величина зерен менее 0,001 мм). Искусственный графит.
4. коксовый, доменный, ретортный графит (ynheic graphite), специально получаемый из антрацита, нефтяного кокса, а также из отходов доменного производства.

Графит: руды, области использования, требования промышленности и др.

- Промышленные руды чешуйчатого графита содержат от 2 до 15% (редко более) этого минерала. Они легко обогащаются флотацией с получением концентрата, содержащего 60% и более графита. Еще более обогатимы выветрелые чешуйчатые руды, в которых сростания графита с другими минералами отсутствуют. В плотнокристаллических кусковых рудах массовая доля графита составляет 35-40% и более; без обогащения используется руда, в которой эта величина поднимается до 60-80%. Скрытокристаллическая руда (аморфный графит) труднообогатима. Без обогащения используются руды с содержанием углерода около 70%, бедные руды (20-40%) обогащаются ручной разборкой.

- Основная масса графита потребляется в качестве огнеупоров (чешуйчатая и плотнокристаллическая разновидности) в основном в черной и цветной металлургии, производстве высокоуглеродистой стали и в литейном деле (для покрытия внутренней поверхности литейных форм, где обычно используют аморфный графит в смеси с огнеупорной глиной, молотой слюдой, тальком или песком). В США на эти три отрасли промышленности приходится более половины потребления графита. Значительное количество графита идет на производство всевозможных смазок, применяемых в водной и иных средах, токопроводящей резины, сухих батарей, электродов, скользящих контактов, деталей ядерных втулок и других изделий. Графит является основным сырьем для промышленного синтеза технических алмазов, находит широкое применение в порошковой металлургии и в производстве реакторов и ракетных двигателей, карандашей, туши, копировальной бумаги, всевозможных реторт, полупроводников.

- Различные отрасли промышленности предъявляют свои специфические требования к качеству графитного сырья (руд и концентратов). В настоящее время производятся следующие типы и марки графита: литейный (марки ГЛ, ГЛС), элементный (ГЭ), электроугольный (ЭУЗ, ЭУТ, ЭУН), аккумуляторный (ГАК), тигельный (ГТ), карандашный, смазочный (ГК, ГС, П), специальный малозольный (ГСМ-1, ГСМ-2), графит для специальных сталей (ГСС), особо чистый графит для ядерных реакторов и др.

Примеры месторождений

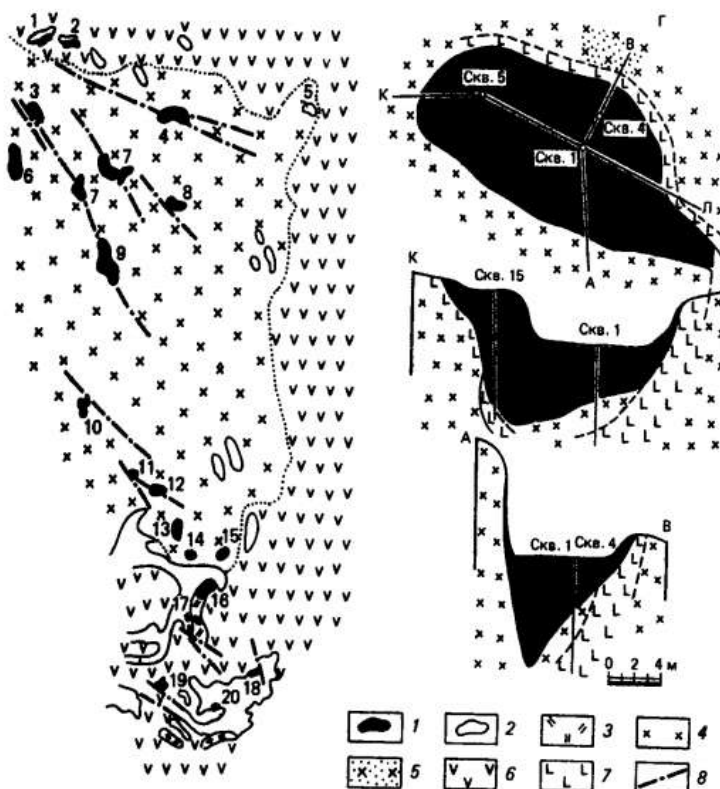


Рис. 24.1. Распределение графитовых залежей в Ботогольском массиве (слева), геологический план и разрезы Корнельевского штока (справа) (по Р.В.Лобзовой). Условные обозначения: 1 — графитовые залежи (цифры на рисунке: 1-Верхняя, 2-Северная, 3-Петровская, 4-Корнельевский шток, 5-Аномалия № 4, б-Аномалия № 18-19, 7-Юго-Западная, 8-Некрасовский шток, 9-Аномалия № 17, 10-Пермикинский шток, 11-шток Новый, 12-Алиберовский шток, 13-Большой шток, 14-Второй южный шток, 15-Юго-Восточный шток, 16-Ильинская, 17-Жила, 18-Клемешевский шток, 19-Южный шток, 20-гнездо Шарик); 2 — ксенолиты мраморов; 3 — скарновые породы; 4 — лейкократовые нефелиновые сиениты; 5 — нефелиновые сиениты графитизированные; 6 — пироксеновые сиениты; 7 - апокарбонатные фениты; 8 — разрывные нарушения

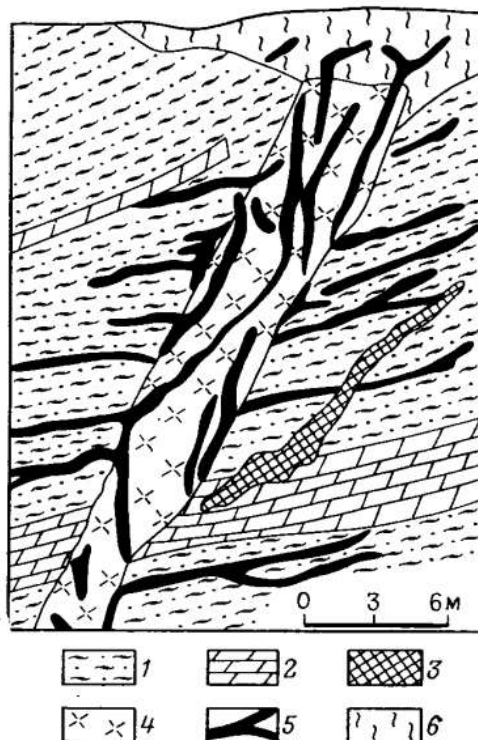


Рис. 24.2. Обобщенный разрез графитовых месторождений Шри-Ланки (по Д.Н.Вадиа). 1 – гнейсы; 2 – доломиты; 3 – пироксениты; 4 – пегматиты; 5 – графитовые руды; 6 – латеритная шляпа

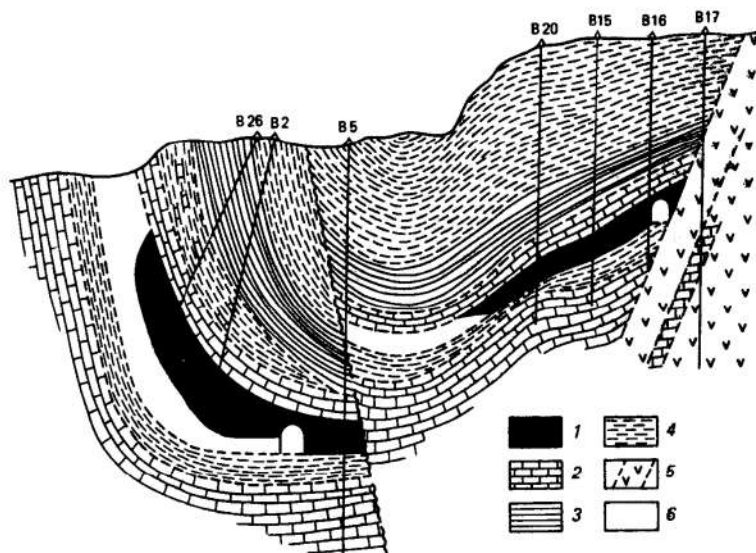


Рис. 24.3. Разрез контактово-метасоматического графитового месторождения Блэк Дональд (по Хьюитту). 1 — графит; 2 — известняк, местами скарни- рованный; 3 — окремненный известняк; 4 — чередование силикатных и карбонатных пород; 5 — аплит и пегматит; 6 — отработанная часть месторождения

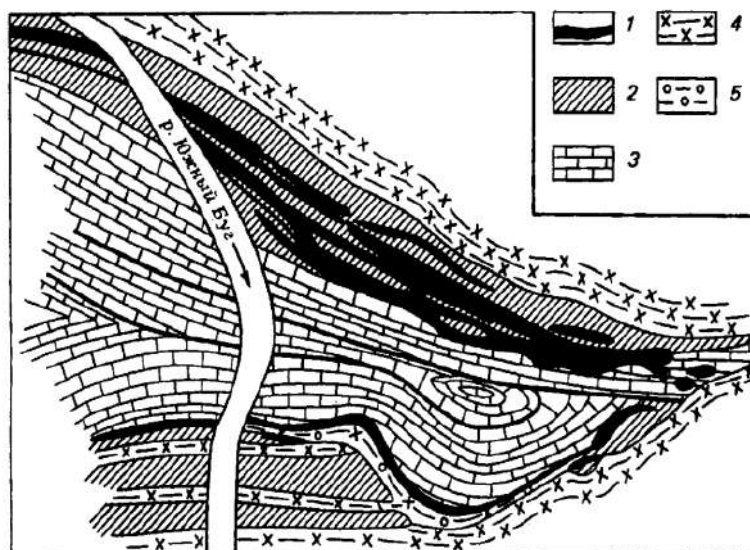


Рис. 24.4. Геологическая карта Завальевского месторождения чешуйчатого графита (по А.Е. Иванищеву). 1 – графитовые гнейсы; 2 – гнейсы безрудные; 3 – кристаллические известняки; 4 – граниты; 5 – мигматиты

Генетически месторождение рассматривается подавляющим большинством исследователей метаморфическим, образовавшимся в процессе регионального метаморфизма первично-осадочных алюмосиликатных пород, содержавших в составе рассеянное углеродное вещество.

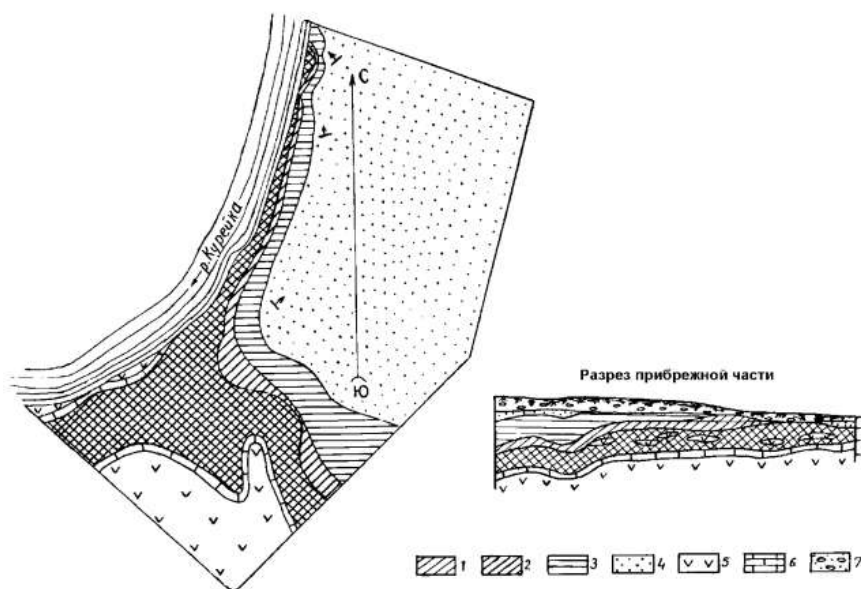


Рис. 24.5. Геологическая карта и разрез Курейского месторождения скрытокристаллического (аморфного) графита (по материалам С.В. Обручева, В.П. Солоненко и др.). 1 – графит; 2 – графитовые сланцы; 3 – кварцитовидные песчаники и

сланцы; 4 – серые песчаники; 5 – траппы; 6 – мраморовидный кальцит; 7 – террасовые отложения

Считается, что графитовая залежь является продуктом термального метаморфизма каменноугольного пласта под воздействием нижезалегающего диабазового силла большой мощности, обусловившего длительное время прогрева. Температура прогрева оценивается в диапазоне 1250 -700 гр. С.

Алмазы

- Гораздо более редкая по сравнению с графитом природная полиморфная модификация углерода - алмаз - кристаллизуется в кубической сингонии. Имея идентичный с графитом химический состав (C), алмаз, благодаря более плотному расположению своих атомов в кристаллической решетке, характеризуется резко отличными свойствами: высочайшей твердостью и жесткостью, высоким показателем преломления, сильной дисперсией и углом полного внутреннего отражения в 24°50'. Эти оптические свойства определяют его т. н. алмазный блеск и исключительную игру цветов, возникающую при разложении белого света. Алмаз нерастворим ни в кислотах, ни в щелочах, а поэтому устойчив в природных условиях. Он хорошо проводит тепло и плохо - электричество. Плотность алмаза составляет 3,513 г/см³, температура плавления - 3700-4000°С, температура сгорания на воздухе - 850-1000°С. При нагревании до 1200-1500°С без доступа воздуха алмаз переходит в графит. В импактитах и метеоритах известна редкая гексагональная разновидность алмаза - лонсдейлит, близкая к нему по своим свойствам.

- Существуют два вида алмазного сырья: ювелирное и техническое. К ювелирным относят достаточно крупные кристаллы совершенной формы, окраски, исключительной прозрачности, без трещин, включений и иных дефектов. Минимальный размер ювелирных алмазов 0,05 карата (0,01 г); крупными считаются камни более 10 каратов; если масса алмаза превышает 50 каратов - ему присваивается название. Крупные алмазы распиливают, подвергают огранке и шлифовке с получением бриллиантов, при этом теряется более 50% их массы. Назначение огранки, этой в буквальном смысле ювелирной работы, - придать камню наибольший блеск и игру цветов.

- Технические алмазы используются для изготовления всевозможных резцов, сверл, наконечников, подшипников, в часовом производстве, фильер для волочения проволоки, армирования буровых коронок и др. Свыше 3/4 всех технических алмазов идет для получения порошка и на изготовление шлифовальных кругов, дисковых пил и др. В связи со все возрастающими требованиями к точности и скорости обработки металлов технические алмазы широко применяются в машиностроении, электронной, авиационной, автомобильной и других отраслях промышленности. Дефицит природных алмазов привел в 50-х гг. минувшего столетия к появлению их синтетических аналогов.

Главнейшие геолого-промышленные типы месторождений алмазов

В настоящее время главным геолого-промышленным типом месторождений алмазов является собственно магматический - кимберлитовые и лампроитовые трубки

(реже дайки), вторым - современные и древние россыпи различного генезиса. Кроме того, следует иметь ввиду ударнометаморфический (в метеоритных кратерах, образованных импактитами) и динамометаморфический (в линейных зонах и линзовидных телах среди гнейсов и метасоматитов) генетические типы алмазной минерализации с намечающейся промышленной значимостью.

Кимберлитовые и лампроитовые трубки, сложенные как массивными, так и разнообразными обломочными образованиями (туфами, туфобрекчиями, туффизитами, эруптивными брекчиями), обычно характеризуются гнездово-кластерным распределением, подчиненным зонам глубинных разломов и их пересечений в кристаллическом фундаменте окраинных частей древних платформ и их складчатых обрамлений.

Очень богатые трубки содержат 3-4 карат алмазов на 1 т кимберлита. Обычно содержания алмазов в трубке с глубиной снижаются. В настоящее время минимальные промышленные содержания в южноафриканских трубках составляют около 0,1 кар/т. Самая верхняя выветрелая часть трубок (желтая земля) наиболее обогащена алмазами по сравнению с ниже залегающей синей землей и неизменным кимберлитом.

Среди россыпных месторождений алмазов главнейшими по промышленной значимости являются современные аллювиальные и морские. В первых алмазы концентрируются в гравелитах и галечниках речного русла, поймы и террас; максимальные их концентрации фиксируются в приконтактной части залежей. Содержание алмазов заметно снижается по мере удаления от коренных источников (обычно кимберлитовых тел). Протяженность таких россыпей может достигать десятков километров, ширина - десятков-первых сотен метров, мощность - метры, средние содержания алмазов в них местами могут достигать десяти каратов и более. Выдающимися мировыми представителями морских россыпей являются образования Атлантического побережья Южной Африки на территории ЮАР и Намибии.

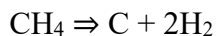
Ископаемые россыпи алмазов самостоятельного значения для добычи обычно не имеют. Однако ископаемые россыпи могут являться источниками формирования современных россыпей

О генезисе алмаза в кимберлитовых и лампроитовых трубках

В проблеме генезиса кимберлитов и лампроитов, считается установленным, что соответствующие магмы поступали из глубинных мантийных очагов, о чем свидетельствуют, в частности, ксенолиты эклогитового и перидотитового слоев верхней мантии.

По экспериментальным и теоретическим данным инверсионная кривая графиталмаз достигает значений в 35 кбар и 800°C, что соответствует глубинам около 100-110 км на континентах; это принимается за верхнюю границу кристаллизации алмаза. Поскольку в нем устанавливаются включения коэсита, а не более глубинного стишовита (две высокотемпературные и высокобарические модификации кремнезема), нижним пределом кристаллизации алмаза является глубина почти в 300 км, эквивалентная кривой инверсии указанной минеральной пары.

В связи с этим большинство геологов связывают образование алмазов с мантийными условиями за счет, например, углеводородов:



метан алмаз

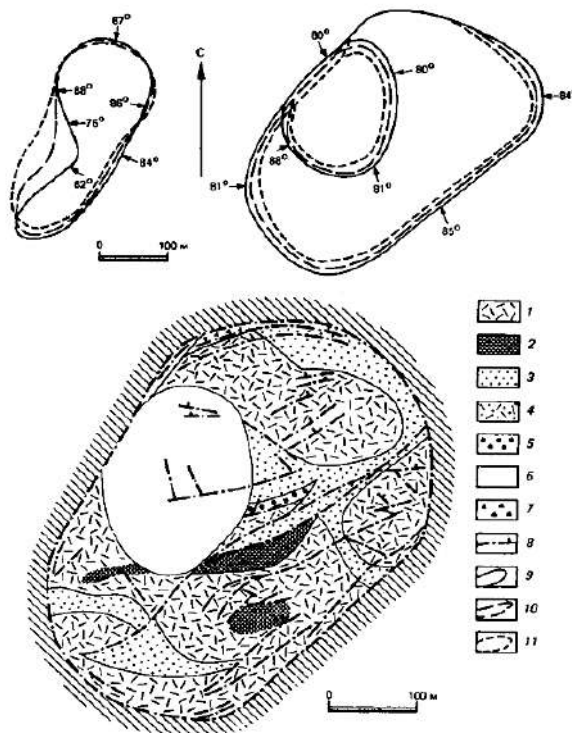


Рис. 24.6. Кимберлитовая трубка Летсенг-ла-терае, Лесото (по Л.Никсону). Вверху – контуры главной и сателлитной трубок на трех горизонтах. Внизу – внутреннее строение главной трубки на горизонте 60 м от дневной поверхности. Типы кимберлитов: 1 – голубоватосерые; 2 – коричневые; 3 – серые; 4 – неизменные; 5 – тонкозернистые дунитовые; 6 – зеленовато-серые серпентинизированные; 7 – темные и темно-серо-зеленые; 8 – разломы и их падения. Геологические контуры (вверху): 9 – на поверхности; 10 – на глубине 75 м; 11 – на глубине 160 м

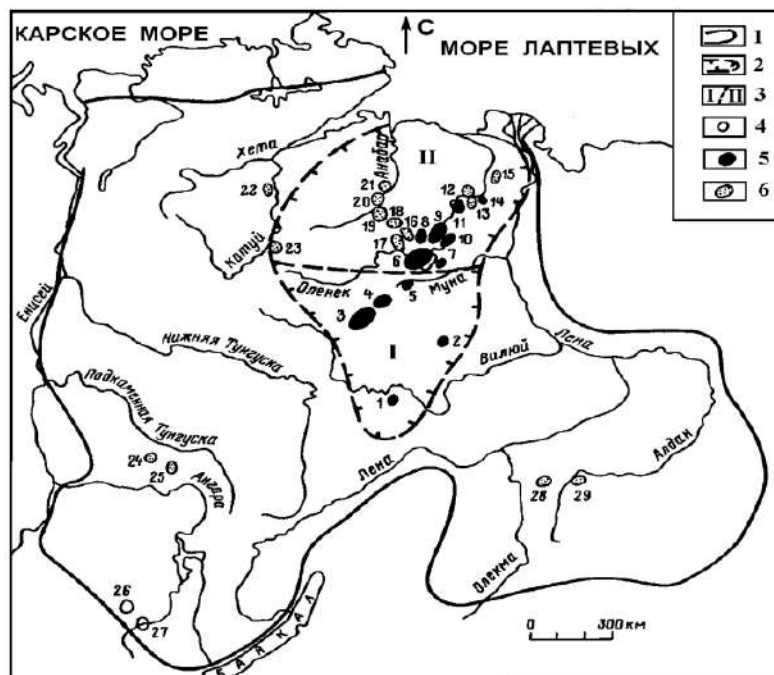


Рис. 24.7. Схема распространения кимберлитовых и кимберлитоподобных пород на Сибирской платформе (по А.Д.Харькиву, Н.Н.Зинчуку, В.М.Зуеву). Условные обозначения: 1 – граница Сибирской платформы; 2 – предполагаемая граница Якутской кимберлитовой провинции; 3 – кимберлитовые области (субпровинции): I - Вилюйская, II – Анабаро-Оленекская; 4–6 – поля развития кимберлитов и кимберлитоподобных пород протерозойского (4), среднепалеозойского (5) и мезозойского (6) возраста (1 – Мирнинское, 2 – Накынское, 3 – Алакит-Мархинское, 4 – Далдынское, 5 – Верхнемунское, 6 – Чомурдахское, 7 – Севернейское, 8 – Западно-Укукитское, 9 – Восточно-Укукитское, 10 – Огонер-Юряхское, 11 – Мерчимденское, 12 – Куойкское, 13 – Верхнемолодинское, 14 – Толуопское, 15 – Хорбусуонское, 16 – Лучаканское, 17 – Куранахское, 18 – Дьюкенское, 19 – Среднекуонапское, 20 – Нижнекуонапское, 21 – Орто-Ыаргинское, 22 – Котуйское, 23 – Харамайское, 24 – Тайчикуно-Нембинское, 25 – Чадобецкое, 26 – Белозиминское, 27 – Окинское, 28 – Чомполинское, 29 – Тобук-Хатыстырское)



ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ
ФАКУЛЬТЕТ
МГУ ИМЕНИ
М.В. ЛОМОНОСОВА

teach-in
ЛЕКЦИИ УЧЕНЫХ МГУ