

Шығыс Қазақстан облысы әкімдігінің
білім
басқармасы
КМҚК «Геология барлау колледжі»
КМҚК



КГКП «Геологоразведочный
колледж» управления
образования Восточно-
Казахстанского областного
акимата

**Опорный конспект для специальности 0701000 – «Геологическая съемка, поиск
и разведка месторождений полезных ископаемых» по предмету «Полезные
ископаемые»**

Основной (справочный) план составляется в соответствии с рабочим учебным планом, утвержденным в 2011 году, и рабочим учебным планом, утвержденным в 2011 году 0701000 «Геологическое изучение, разведка и разведка месторождений полезных ископаемых».

Общее количество часов: 174

I семестр _____

II семестр _____

III семестр _____

IV семестр _____

V семестр _____ 26

VI семестр _____ 36

VII семестр _____ 112

Обязательные контрольные работы: 3 - V-VI-VII семестре

Контрольные: экзамен, зачеты

Тематический план дисциплины

<u>№</u> <u>темы</u>	<u>Наименование разделов и тем</u>	<u>Количество часов</u>	
		<u>Всего</u>	<u>Практическ</u> <u>их занятия</u>
1	2	4	5
1	Введение	1	
	1 Раздел. Общая и генетическая часть		
2	Тема 1.1 Основные понятия, области распространения месторождений полезных ископаемых, морфология, структура и условия залегания.	1	2
3	Тема 1.2 Геолого-геохимические условия формирования месторождений полезных ископаемых	2	2
4	Тема 1.3 Деление месторождений полезных ископаемых	2	2
5	Тема 1.4 Формирование эндогенных месторождений полезных ископаемых	10	10
6	Тема 1.5 Формирование экзогенных месторождений полезных ископаемых	8	10
7	Тема 1.6 Формирование метаморфогенных месторождений полезных ископаемых	2	6
	Всего по разделу:	26	32
	2 Раздел Месторождения металлических полезных ископаемых		
8	Тема 2.1 Общая характеристика металлических месторождений	2	
9	Тема 2.2 Месторождения черных металлов	4	6
10	Тема 2.3 Месторождения спесей металлов	4	4
11	Тема 2.4 Месторождения цветных металлов	4	4
12	Тема 2.5 Месторождения драгоценных металлов	2	4
13	Тема 2.6 Месторождения радиоактивных металлов	2	4
14	Тема 2.7 Месторождения редких металлов	4	6
	Всего по разделу:	22	28

	3 Раздел Неметаллические полезные ископаемые	2	
15	Тема 3.1 Общая характеристика неметаллических месторождений полезных ископаемых	2	
16	Тема 3.2 Месторождения химического сырья и минеральных удобрений	2	6
17	Тема 3.3 Месторождения промышленного сырья	2	6
18	Тема 3.5 Месторождения строиматериалов	2	6
19	Тема 3.6 Месторождения драгоценных, технических и декоративных камней	2	6
	Всего по разделу:	12	24
	4 Раздел Месторождения горючих ископаемых		
21	Тема 4.1 Общая характеристика горючих отложений. Концепция горючих ископаемых	2	
22	Тема 4.2 Торфяные месторождения	2	4
23	Тема 4.3 Месторождения углей	2	4
24	Тема 4.4 Сланцевые месторождения	2	4
25	Тема 4.5 Месторождения природного газа, нефти, твердого битума	2	4
	Всего по разделу:	10	16
	5 Раздел Региональные закономерности расположения месторождений полезных ископаемых		
26	Тема 5.1 Рудные провинции Казахстана и СНГ	2	4
27	Тема 5.2 Этапы становления месторождений на территории Казахстана	2	4
	Всего по разделу:	74	100
Всего по предмету:		174	100

Содержание

1. Урок №1. Тема: Введение. Основные понятия, области распространения месторождений полезных ископаемых, морфология, структура и условия залегания.	8
2. Урок №2. Тема: Геолого-геохимические условия формирования месторождений полезных ископаемых	19
3. Урок №3. Тема: Деление месторождений полезных ископаемых	24
4. Урок №4. Тема: Магматические месторождения	29
5. Урок №5. Тема: Пегматитовые, альбетит-грейзеновые месторождения	32
6. Урок №6. Тема: Карбонатитовые месторождения	46
7. Урок №7. Тема: Скарновые, колчедановые месторождения	50
8. Урок №8. Тема: Гидротермальные месторождения	54
9. Урок №9. Тема: Месторождения выветривания. Россыпные месторождения. Месторождения четвертичных отложений.	57
10. Урок №10. Тема: Формирование метаморфогенных месторождений полезных ископаемых	68
11. Урок №11. Тема: 2 Раздел Месторождения металлических полезных ископаемых	
12. Урок №12. Тема: Железо, марганец, хром	74
13. Урок №13. Тема: Титан, ванадий, вольфрам	79
14. Урок №14. Тема: Кобальт, никель, молибден	83
15. Урок №15. Тема: Медь, свинец, цинк	86
16. Урок №16. Тема: Олово, висмут, мышьяк	88
17. Урок №17. Тема: Сурьма, ртуть, алюминий, магний	91
18. Урок №18. Тема: Золото, серебро, платина, уран, торий	99
19. Урок №19. Тема: Литий, цезий, рубидий, цирконий, гафний	107
20. Урок №20. Тема: Бериллий, тантал	113
21. Урок №21. Тема: Ниобий, индий, галлий	115
22. Урок №22. Тема: Кадмий, рений, селен, теллур	121
23. Урок №23. Тема: 3 Раздел Неметаллические полезные ископаемые	122
24. Урок №24. Тема: Месторождения химического сырья. Фосфор, сера, мел	123
25. Урок №25. Тема: Стронций, соли, минеральные пигменты	125
26. Урок №26. Тема: Месторождения промышленного сырья. Алмас, графит, слюды, асбест	129
27. Урок №27. Тема: Тальк, флюорит, барит, корунд	134
28. Урок №28. Тема: Глиноземное сырье, пьезооптическое сырье, цеолиты	139
29. Урок №29. Тема: Месторождения строиматериалов	143
30. Урок №30. Тема: Месторождения драгоценных, технических и декоративных камней	148
31. Урок №31. Тема: 4 Раздел Месторождения горючих ископаемых. Общая характеристика горючих отложений.	150
32. Урок №32. Тема: Торфяные месторождения	152

33. Урок №33. Тема: Месторождения угля
34. Урок №34. Тема: Генетические типы промышленных угольных месторождений
35. Урок №35. Тема: Месторождения сланцев 155
36. Урок №36. Тема: Месторождения природного газа, нефти 158
37. Урок №37. Тема: Обязательная контрольная работа

Практические занятия.

38. Урок №1. Тема: Изучение основных форм рудного тела.
39. Урок №2. Тема: Изучение геологических карт и определение на карте предпосылок полезных ископаемых
40. Урок №3. Тема: Изучение схем месторождений в геосиклинарных и платформенных областях
41. Урок №4. Тема: Магматические, карбонатитные месторождения
42. Урок №5. Тема: Пегматитовые, альбетит-грейзеновые месторождения
43. Урок №6. Тема: Скарновые, колчедановые, гидротермальные месторождения
44. Урок №7. Тема: Описание структуры различных выветренных пород
45. Урок №8. Тема: Разработка схем механического и химического дифференцирования веществ по экзогенным процессам.
46. Урок №9. Тема: Опишите геологическое строение карт и разрезов метаморфических месторождений.
47. Урок №10. Тема: Структура руды по видам, их рассмотрение и описание. Урок №1. Тема:
48. Урок №11. Тема: Железо
49. Урок №12. Тема: Марганец
50. Урок №13. Тема: Хром
51. Урок №14. Тема: Титан
52. Урок №15. Тема: Ванадий
53. Урок №16. Тема: Вольфрам
54. Урок №17. Тема: Кобальт
55. Урок №18. Тема: Никел, молибден
56. Урок №19. Тема: Медь, свинец
57. Урок №20. Тема: Цинк
58. Урок №21. Тема: Олово
59. Урок №22. Тема: Висмут, мышьяк
60. Урок №23. Тема: Сурьма, ртуть
61. Урок №24. Тема: Алюминий, магний
62. Урок №25. Тема: Золото, серебро
63. Урок №26. Тема: Платина и ее разновидности
64. Урок №27. Тема: Уран, торий
65. Урок №28. Тема: Литий, цезий
66. Урок №29. Тема: Рубидий, цирконий, гафний

67. Урок №30. Тема: Бериллий, рубидий, тантал, кадмий, рений, ниобий, индий, селен, теллур
68. Урок №31. Тема: Стронций, соли, минеральные пигменты
69. Урок №32. Тема: Фосфор, сера, мел
70. Урок №33. Тема: Алмаз, графит, слюды, асбест
71. Урок №34. Тема: Глимноземное сырье,
72. Урок №35. Тема: Пьезооптическое сырье, цеолиты
73. Урок №36. Тема: Тальк, флюорит, барит, корунд
74. Урок №37. Тема: Гипс, ангидрит, известняки
75. Урок №38. Тема: Доломиты, мергели, трепел.
76. Урок №39. Тема: Зачет
77. Урок №40. Тема: Диатомиты, опока, спонголиты, песок и гравий, песчаники, магматические и метаморфические породы
78. Урок №41. Тема: Драгоценные камни. Ювелирные камни.
79. Урок №42. Тема: Технические камни. Генетические типы промышленных месторождений.
80. Урок №43. Тема: Торфяные месторождения.
81. Урок №44. Тема: Месторождения угля
82. Урок №45. Тема: Генетические типы промышленных угольных месторождений.
83. Урок №46. Тема: Торфяные месторождения
84. Урок №47. Тема: Месторождения природного газа, нефти
85. Урок №48. Зачет

Урок №1

Тема: Введение. Основные понятия, области распространения месторождений полезных ископаемых, морфология, структура и условия залегания.

Основные определения

Полезное ископаемое (п. и.) – природное минеральное вещество, используемое в том или ином виде для нужд человечества. Участок земной коры, в котором в ходе действия некоторых процессов возникло скопление полезного ископаемого, пригодного по количеству и качеству для эксплуатации, называют **месторождением полезного ископаемого**. Месторождения отличаются большим разнообразием по составу и строению. Имеются месторождения газообразных, жидких и твердых полезных ископаемых; по соотношению извлекаемых из недр объемов разрабатываются, главным образом, твердые п. и.

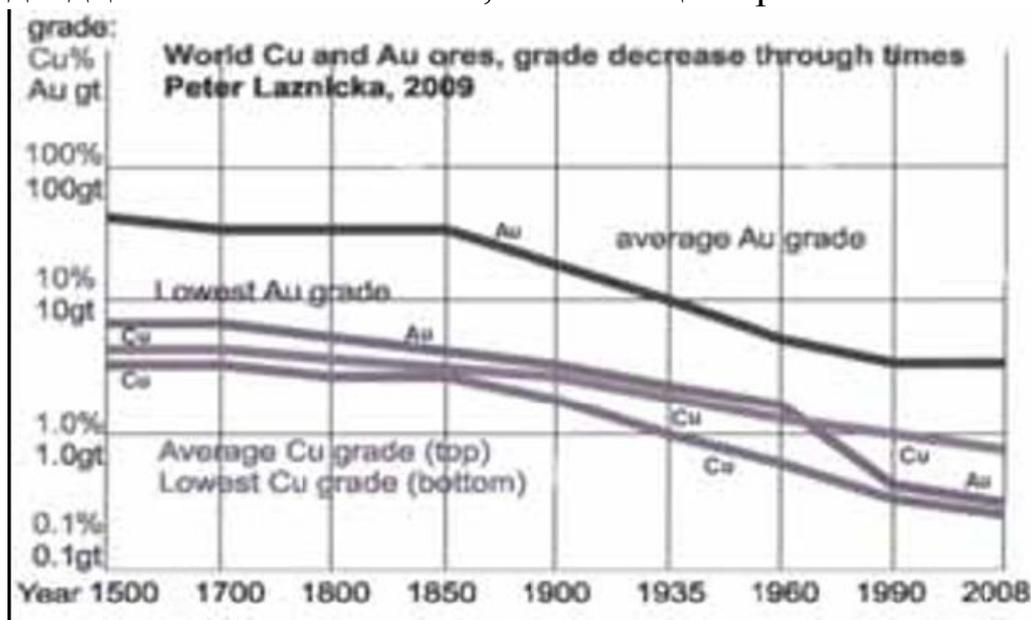
По назначению добываемого сырья месторождения твердых полезных ископаемых подразделяются на *металлические* (рудные), *неметаллические* (нерудные) и *горючие* п. и. К металлическим п. и. относят руды различных металлов; к неметаллическим – химическое, огнеупорное, электротехническое, пьезооптическое, камнесамоцветное и многие другие виды сырья; к горючим – нефть, горючий газ, каменный и бурый уголь и т.п. Деление это, возникшее довольно давно, является в наши дни весьма условным, поскольку, например, уран является и металлом, и «топливом», марганец – металлом и химическим сырьем. «Неметаллические» п. и., с другой стороны, могут содержать примеси металлов - редких земель, германия, урана и др., которые иногда представляют самостоятельную ценность.

Руда – это минеральный агрегат, в котором содержание одного или нескольких ценных компонентов достаточно для промышленного извлечения. Не каждое скопление п. и. можно назвать месторождением, и не каждый минеральный агрегат с ценными минералами – рудой. Для присвоения этих названий необходимо соблюдения следующих условий:

- 1) качество;
- 2) количество;
- 3) условия залегания;
- 4) технологические свойства;
- 5) географическое положение.

Качество руды определяется, прежде всего, содержанием полезного компонента (или компонентов) и вредных примесей. Существует понятие *минимального промышленного содержания* (C_{min}), ниже которого руда становится невыгодной для добычи. Допустимое присутствие вредных примесей нормируется их *максимальным содержанием*. Эти требования

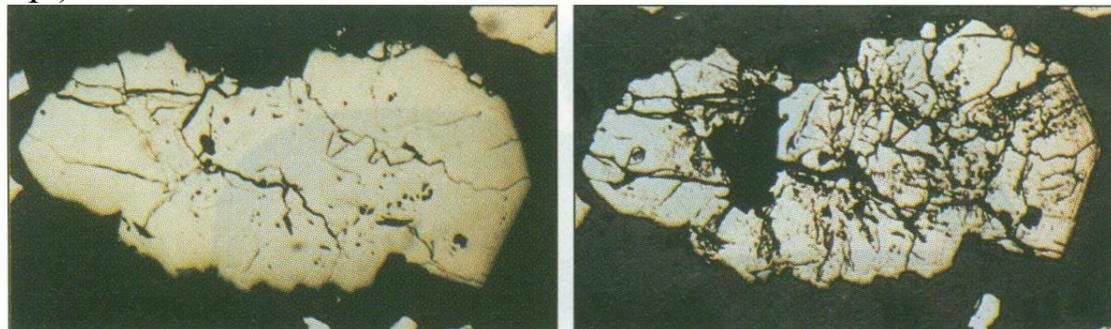
относятся к так называемым *параметрам кондиций*, которые не являются постоянными и меняются с развитием экономики и состояния рынка сырья. Например, содержание меди в рудах, добывавшихся в первой половине двадцатого века – 1.5-2 %, в настоящее время – 0.8-1 %.



Количество минерального сырья, или его *запасы*, определяет положение месторождения в последовательности от мелких и средних до крупных и уникальных. Для различных полезных ископаемых эта величина различна: например, минимальные запасы руд железа и марганца сотни тысяч тонн, меди, никеля, свинца и цинка – тысячи и десятки тысяч тонн, золота и платины – первые тонны.

Условия залегания – это форма рудных тел, их компактность, глубина нахождения, устойчивость пород и руд, их обводненность и поведение при разработке открытым или подземным способом. Горные выработки имеют определенные размеры, и рудные тела меньшей мощности невыгодны для отработки. Отсюда возникло требование к минимальной мощности пласта.

Технологические свойства определяются техническими возможностями и стоимостью извлечения единицы готовой продукции из руды, определяемой способом извлечения (флотация, гидрометаллургия, плавление, экстракция и др.).



Before and after. Thirty days of bioleaching with *T. ferrooxidans* have corroded this pyrite crystal, exposing the occluded gold.
SCIENCE * VOL. 264 * 6 MAY 1994

Географическое положение также влияет на оценку месторождений. Экономически наиболее выгодно осваивать месторождения в экономически

развитых, обжитых районах. В таких условиях разрабатываются даже мелкие месторождения с бедными рудами, в то время как гигантские месторождения в отдаленных районах не эксплуатируются (например, Удоканское месторождение меди в Забайкалье).

Таким образом, понятие «месторождение» несет как *геологическую*, так и *технологическую-экономическую* нагрузку.

С геологической точки зрения, *месторождение* – это узел сопряжения особых, специфических геологических условий, в котором концентрация отдельных элементов или минералов оказалась намного выше, чем в окружающих толщах земной коры. В. И. Смирнов подчеркивал, что «любое месторождение представляет собой исключительное природное явление». Действительно, наложение одинаковых рудообразующих процессов (рассмотренных ниже) на исходные породы различного состава и расположенные по-своему в каждой «точке» земной коры, приводит к возникновению совершенно не похожих друг на друга месторождений.

Концентрирование элементов, обуславливающее возникновение месторождений, происходит благодаря различным процессам, изучаемым *геохимией*. Эта наука занимается изучением рассеяния, миграции и отложения элементов в земной коре. Накопление, концентрирование элементов связано с наличием одного или нескольких *геохимических барьеров*, задерживающих рудообразующие химические элементы.

Основными методами изучения МПИ являются:

1. Анализ разведочных и эксплуатационных данных (геологическая, геофизическая, геохимическая информация; результаты бурения, проходки горных выработок и др.).
2. Собственные геологические наблюдения.
3. Лабораторные и экспериментальные работы.
4. Гипотеза (в нашем случае – вывод о генетическом типе МПИ).

Площади распространения полезных ископаемых

В зависимости от масштабов проявления выделяются следующие категории рудоносных площадей: провинция, область (пояс, бассейн), район (узел), поле, месторождение, рудное тело.

К *провинциям* относят крупные структурные элементы земной коры, относящиеся к платформам (синеклизы, антеклизы, региональные разломы и др.), складчатым поясам и дну морей и океанов с размещенными в их пределах специфическими ассоциациями месторождений (карты 1:1 000 000).

Область полезных ископаемых является составным элементом провинции, имеет изометрические очертания и характеризуется набором определенных по происхождению и составу месторождений. Область приурочена к тектоническим структурам первого порядка (мульды, грабены, поднятия и др).

Рудные пояса – вытянутые линейные области, приуроченные к прогибам, глубинным разломам, зонам субдукции и рифтовым системам. Размеры их колеблются от сотен до тысяч километров.

Бассейны – площади непрерывного распространения пластовой рудной минерализации, выделяемые в пределах континентальных и океанических плит. Площади их составляют сотни – сотни тысяч кв. км.

Рудный район (узел) – местное скопление полезного ископаемого в пределах более крупных структур (провинций и областей), обусловленное приуроченностью к определенным тектоно-магматическим и литофациальным обстановкам (карты 1:200 000).

Рудное поле – группа месторождений, объединяемых общим происхождением и единством геологической структуры. Площадь рудных полей имеет размер единицы-десятки кв. км. (карты 1:25 000)

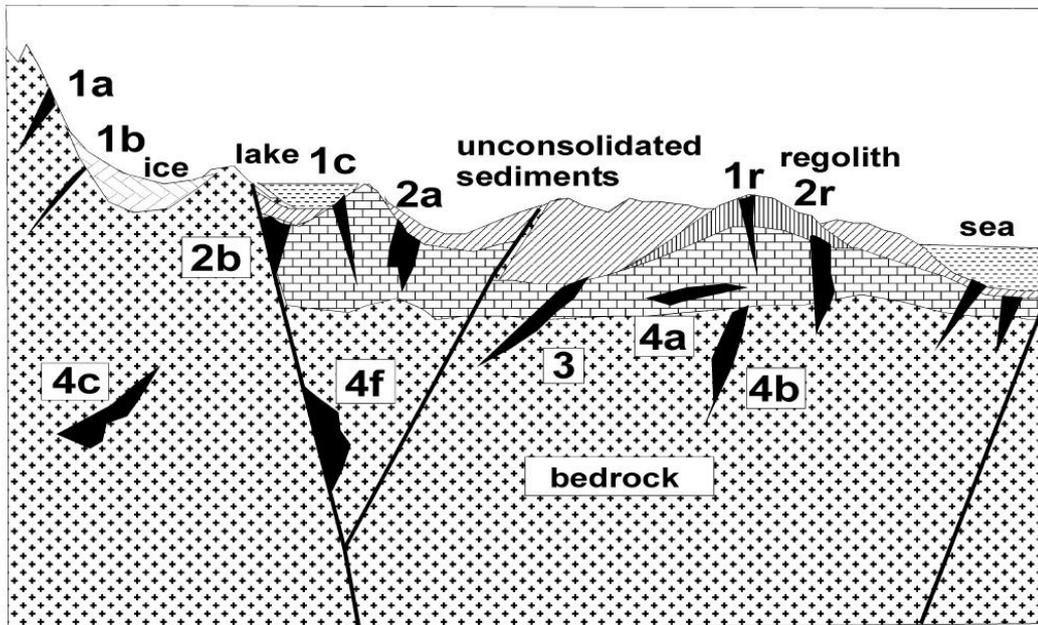
Месторождение полезного ископаемого - участок земной коры, в котором в ходе действия некоторых процессов возникло скопление полезного ископаемого, пригодного по количеству и качеству для эксплуатации (промышленного использования).

Рудное тело – скопление промышленных руд, имеющих общий контур и определенную форму, и приуроченное к определенному структурно-геологическому элементу или их комбинации.

Морфология тел полезных ископаемых

Полезное ископаемое занимает в земной коре определенный объем и имеет свою форму и размеры. Лишь в очень редких случаях вся руда месторождения находится в одном компактном теле. Чаще всего месторождения состоят из серии разрозненных или частично связанных между собой скоплений полезных ископаемых, называемых рудными телами. *Рудное тело* (или рудная залежь) – это ограниченное со всех сторон скопление п. и. *Границы* рудного тела могут быть:

- 1) естественными, видимыми невооруженным глазом (геологические контакты, разломы и др);
 - 2) условные, «невидимые», которые устанавливаются по данным *опробования*.
- По отношению к земной поверхности рудные тела могут быть *открытыми*, т. е. выходящими на поверхность, и *закрытыми* (слепыми) или *перекрытыми*.



OREBODIES

1. EXPOSED AT SURFACE

- 1a In fresh rocks (e.g. recently glaciated mountains)
- 1b Ditto, under glacier ice
- 1c Under lake or sea water
- 1r In deeply weathered regolith

2. COVERED BY THIN UNCONSOLIDATED OVERBURDEN

- 2a Fresh, subaerially exposed overburden
- 2b Ditto under stream, lake, sea
- 2r Under weathered overburden

3. COVERED BY THICK UNCONSOLIDATED OVERBURDEN

4. COVERED BY (ENCLOSED IN) BEDROCK

- 4a In rocks of flat-lying platformic cover
- 4b At unconformity (nonconformity)
- 4c In basement rocks
- 4f In basement along fault that has surface exposure

The numerous sites of occurrence of metallic deposits (that include "giants" and "super-giants") exploited in the past, present and future at and under the surface. From Laznicka (2001)

Форма рудных тел устанавливается для подсчета запаса руды и рационального проектирования горных работ, и определяется *факторами контроля оруденения*. Такими факторами могут являться складчатые и разрывные структуры, состав вмещающих пород и др.

Можно выделить три морфологических типа рудных тел или залежей:

- 1) изометричные;
- 2) линейные (трубообразные);
- 3) плоские (плитообразные).

Изометричные тела представлены штоками, штокверками, гнездами.

Шток

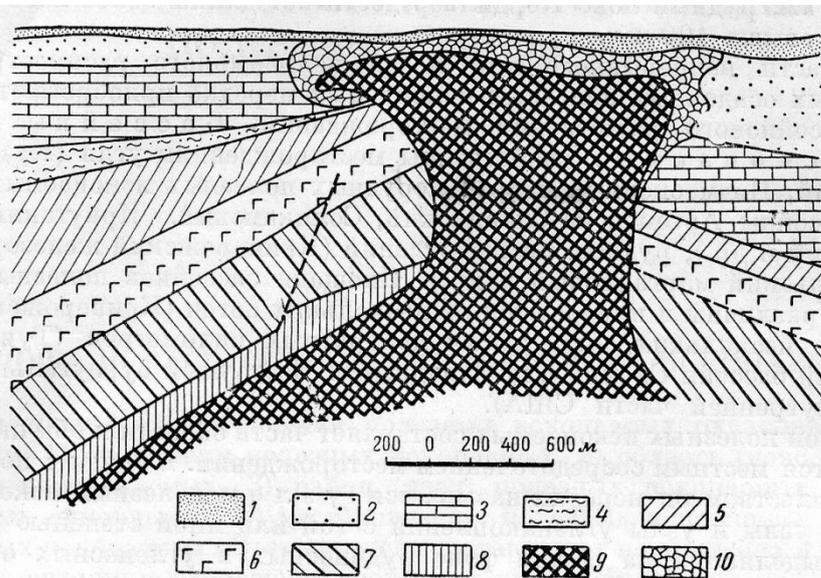
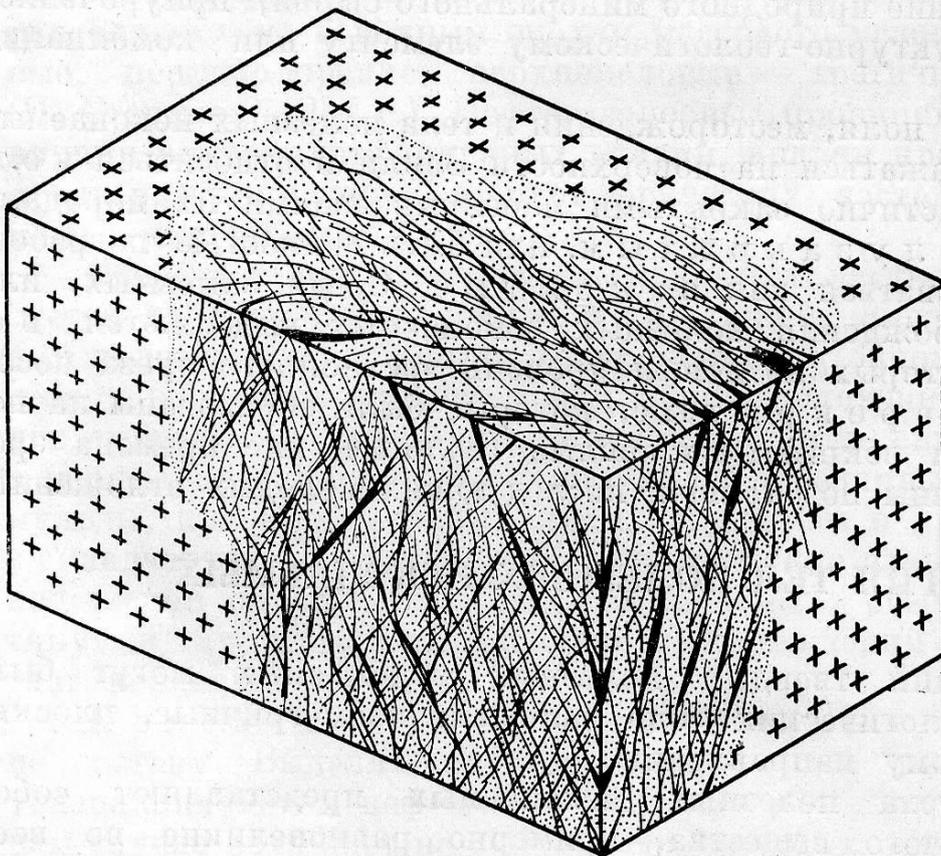


Рис. 2. Шток каменной соли, Ромны. По Ю. Косыгину

1 — четвертичные суглинки; 2 — палеоген (пески и известняки); 3 — верхний мел (карбонатные породы); 4 — верхняя юра (песчано-глинистые породы); 5 — верхний карбон (пестроцветные песчано-глинистые породы); 6 — средний карбон (известняки, угленосные породы); 7 — нижний карбон (известняки с прослоями аргиллитов); 8 — девон (кварцевые песчаники, аргиллиты, известняки); 9 — соленосная толща; 10 — брекчии

Штокверк

Они редко являются залежами сплошных руд, чаще это — система мелких жил и прожилков, сопровождаемых вкрапленностью рудных минералов. В однородных магматических породах такие тела связаны с узлами пересечения зон трещиноватости, геологическими границами интрузии или сериями разрывных нарушений. Наиболее характерны для грейзеновых и гидротермальных месторождений.



Трубообразные (вытянутые в одном направлении) рудные тела возникают чаще всего благодаря сочетанию разрывных структур двух и более направлений в однородных породах или пересечению разлома с плоскостью контакта различных пород. Генетически они связаны с гидротермальными (скарновыми) или магматическими (трубки взрыва) процессами.

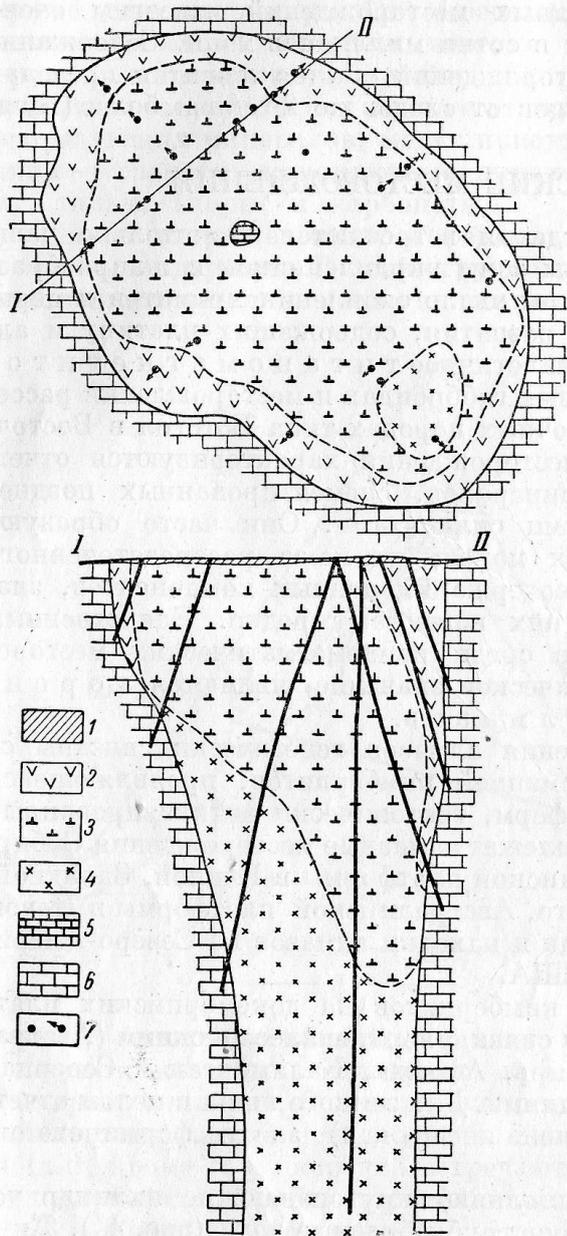


Рис. 44. Геологический план и разрез кимберлитовой трубки «Мир». По А. Бобревичу и др.

1 — наносы; 2 — измененный кимберлит (желтый); 3 — измененный кимберлит (зеленый); 4 — малоизмененный кимберлит; 5 — карбонатные породы нижнего ордовика; 6 — скважины

Плоские (плитообразные) рудные тела представлены пластами, пластообразными залежами и жилами. Пластовые формы рудных тел могут возникать различными способами:

- 1) осадочным;
- 2) гидротермально-метасоматическим;
- 3) магматическим.

При характеристике этих рудных тел обычно указывается мощность, протяжённость и элементы залегания. При наличии нескольких пластов различают *общую мощность продуктивной толщи* и *коэффициент продуктивности К*:

где $K = \sum m / M$,

т.е. является отношением суммарной мощности пластов полезного ископаемого m к общей мощности толщи M .

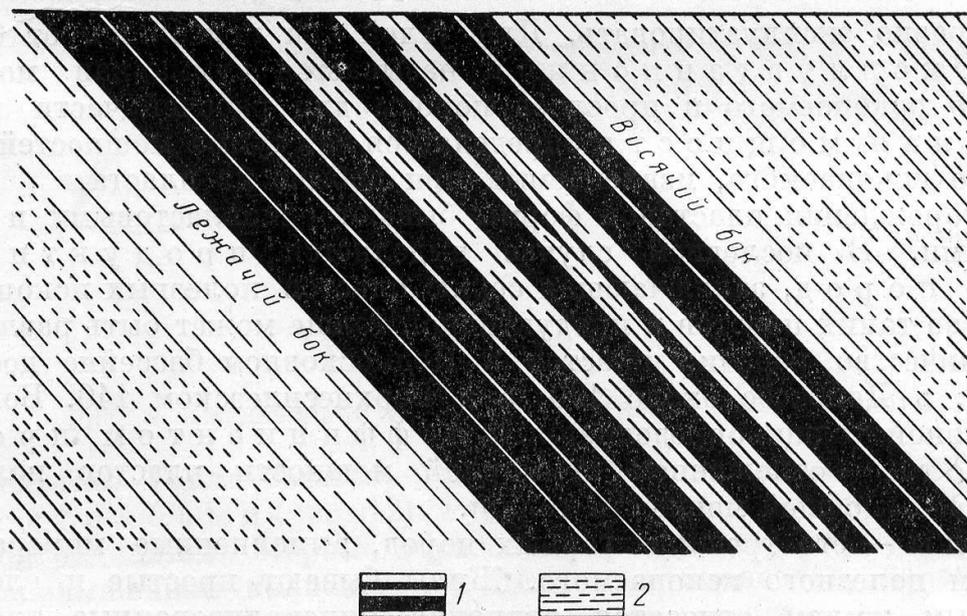
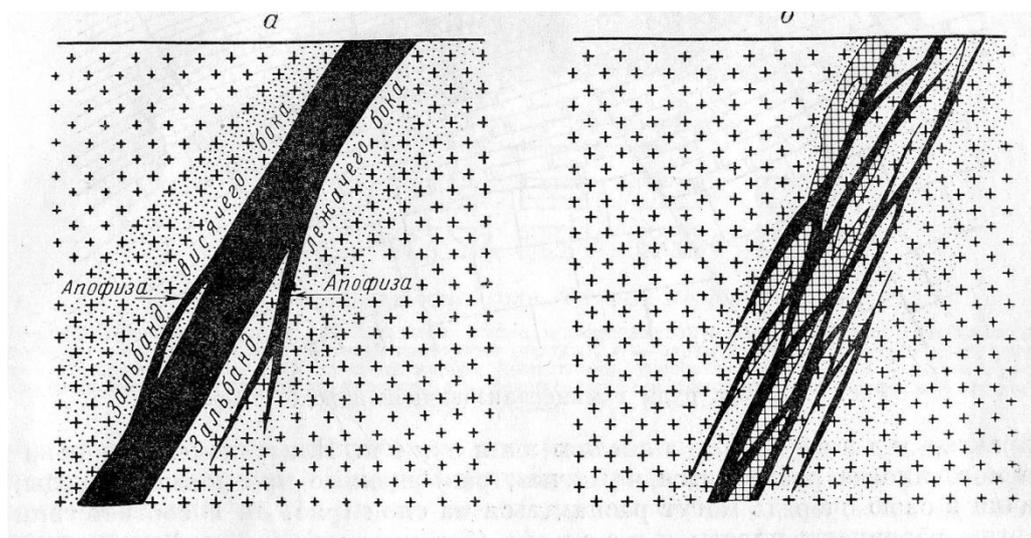


Рис. 5. Строение пласта полезного ископаемого (в разрезе)

1 — пакчи и слои полезного ископаемого; 2 — прослой породы

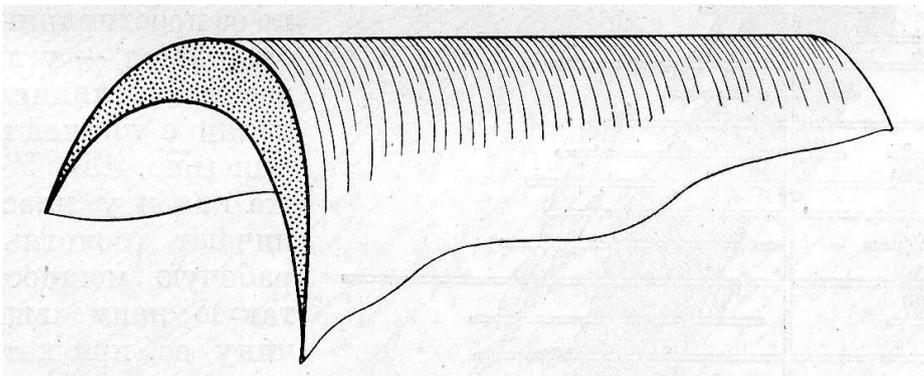
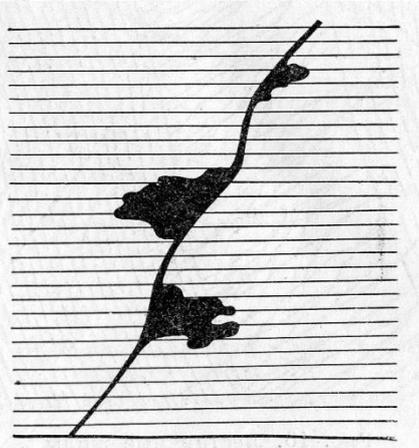
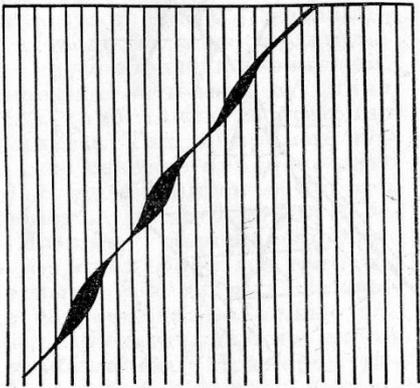
Пластообразная форма залежей обычно характерна для осадочных и магматических процессов рудообразования.

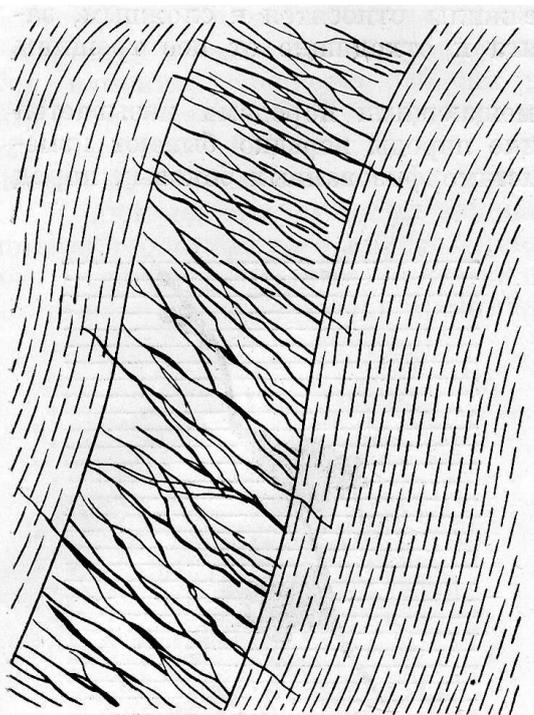


Жилы — это трещины в горных породах, выполненные рудным минеральным веществом. При их образовании ведущую роль играют:

- 1) структурный фактор — наличие разломов и трещин;
- 2) барьерный фактор (например, явление пересыщения рудоносных растворов);
- 3) взаимодействие рудоносных растворов с окружающими породами и др.

В основном жилы возникают в результате действия гидротермальных, магматогенных, реже – экзогенных процессов. По сравнению с пластами жилы имеют более сложное строение и отличаются значительным разнообразием. Выделяют простые, сложные (с разветвлениями), четковидные (от слова «чётки») и камерные (с раздувами и пережимами), седловидные (изогнутые).





Жилы могут образовывать различные системы – поля, лестничные жилы, жилы типа «конского хвоста» и др. Часто руда в жилах распределена неравномерно. Скопление руды при этом называют «рудным столбом». Для жильного типа рудных тел указывают *мощность, простирание, падение*, для рудных столбов – *угол склонения (ныряния)*.

Все рассмотренные формы рудных тел в чистом виде встречаются довольно часто. На практике, тем не менее, чаще приходится иметь дело с комбинациями нескольких форм или переходными формами даже в пределах одного месторождения.

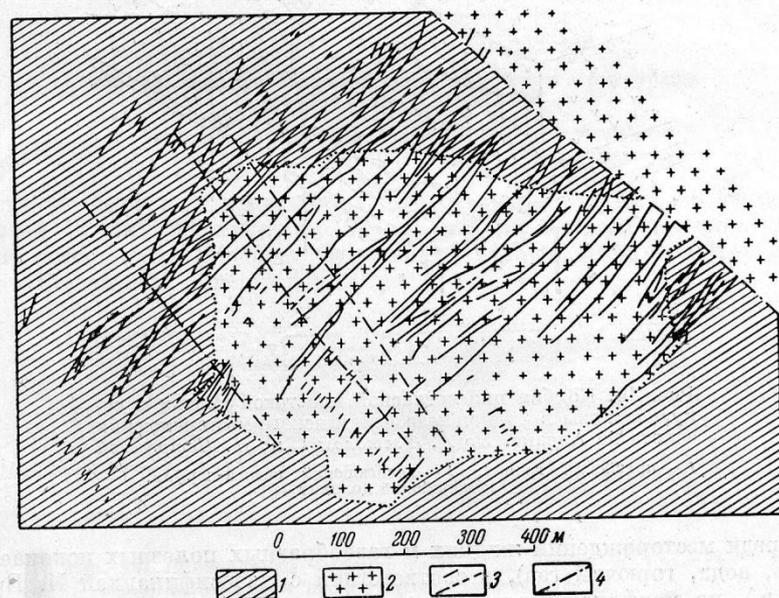


Рис. 14. Жильное поле вольфрамового месторождения Антонова гора.
По А. Дружинину

1 – песчаники, сланцы; 2 – граниты; 3 – жилы; 4 – сбросы

Вещественный состав руд

Рудные тела имеют, как правило, сложный минеральный и химический состав и неоднородное, разнообразное строение.

Минералы, слагающие руду, разделяют на три группы:

- 1) рудные (ценные) минералы;
- 2) жильные (нерудные) минералы;
- 3) породообразующие минералы вмещающих пород.

Минералы второй и третьей групп иногда объединяются в одну группу.

Ценные минералы могут быть рассеяны во вмещающей породе в виде редкой вкрапленности (алмазы в кимберлите), реже – слагать большую часть руды (минералы железа). Обычно преобладают нерудные (жильные и породообразующие минералы).

Для характеристики технологических свойств руд очень важным является их химический состав (по преобладающим минеральным формам):

- 1) кремнистые (SiO_2);
- 2) силикатные (слюды, асбест, тальк и др.);
- 3) карбонатные (руды Fe, Mn, и др.);
- 4) сульфатные (Ba, Sr);
- 5) сульфидные (Cu, Zn, Pb, Mo, Ag, Sn, Co и многие др.);
- 6) окисные (Fe, Mn, Sn, U, Al, Cr и др.);
- 7) фосфатные (апатит, фосфорит);
- 8) галоидные (флюорит, соли);
- 9) самородные (Au, Pt, Cu, S и др.) и т.д.

В зависимости от минеральных форм, по соотношению рудных и нерудных минералов выделяются *природные типы руд*, обычно имеющие различные технологические свойства и различную промышленную ценность.

Текстуры и структуры руд

Для изучения технологических свойств руд и выяснения условий их образования важно знание не только количественного и качественного химического состава руды, но и ее строения, выраженного в структуре и текстуре. *Текстура* руды – это пространственное взаимоотношение минеральных агрегатов. *Структура* определяется формой, размером, и способом сочетания минеральных индивидов в минеральных агрегатах. Т.о., текстура определяется общим «узором» руды, структура – строением «пятен» этого узора. В. И. Смирнов выделил несколько групп текстур полезных ископаемых:

- 1) массивная (однородная);
- 2) пятнистая, вкрапленная;
- 3) полосчатая;
- 4) прожилковая;
- 5) сфероидальная, почковидная;

- 6) замещения;
- 7) дробления (брекчиевая);
- 8) пустотная (каркасная);
- 9) рыхлая.

Наблюдения над текстурами позволяют делать выводы о генезисе руд. Например, прожилковая текстура может указывать на гидротермальное происхождение руды, при этом можно определить порядок минералообразования; рыхлая и пустотная текстуры – на близповерхностное минералообразование или наличие коры выветривания и т. д.

Структуры руд также подразделяются на 8 главных групп:

- 1) равномернозернистая;
- 2) неравномернозернистая;
- 3) пластинчатая;
- 4) волокнистая;
- 5) кристаллографически-ориентированная;
- 6) колломорфная;
- 7) сферолитовая;
- 8) обломочная.

Изучение структуры образцов руд позволяет установить последовательность образования минералов и изменения условий среды рудообразования. Структурные взаимоотношения минералов зачастую можно установить только с помощью микроскопа. Раздел рудной микроскопии называется *минераграфия*. Последовательность минералообразования распознается по целому ряду признаков:

- 1) степень идиоморфизма (совершенства огранки);
- 2) коррозия одних минералов другими;
- 3) пересечения прожилков;
- 4) обрастание одних минералов другими, и т.д.

Исследование текстур и структур имеет исключительно важное значение для выяснения условий образования (генезиса) руд и месторождения в целом. Зная способ образования месторождения, можно предполагать наличие подобных по происхождению скоплений руды в определенных геологических структурах со сходными условиями образования.

Процесс рудообразования подразделяется на крупные отрезки времени – этапы, и более мелкие – стадии рудообразования. **Этап рудообразования** – это длительный период минералонакопления одного генетического процесса (например, магматического, гидротермального, гипергенного и т. д.).

Стадией называется часть этапа, отделенная от предыдущих и последующих интервалов тектоническими подвижками и характеризующаяся образованием одного или нескольких минеральных парагенезисов. *Парагенетической минеральной ассоциацией* (парагенезисом) называется сообщество минералов, образованных совместно как равновесная

минеральная система при определенных термодинамических условиях. Каждому парагенезису соответствуют определенные *генерации* минералов. Вся последовательность минералообразования на месторождении изображается в виде диаграмм.

Урок №2.

Тема: Геолого-геохимические условия формирования месторождений полезных ископаемых

О необходимости подразделения месторождений по их глубинам образования говорилось давно. Так, еще в 1928 г. американский ученый Вальдемар Линдгрэн среди МПИ выделял эпитермальные (близповерхностные), мезотермальные (средних глубин) и гипотермальные (глубокозалегающие). В 1931 году профессор Томского политехнического института М. А. Усов при описании эндогенных месторождений выделял три фации - абиссальную, гипабиссальную и эффузивную (приповерхностную).

В настоящее время выделяют четыре зоны формирования полезных ископаемых:

- приповерхностную;
- гипабиссальную;
- абиссальную;
- ультраабиссальную

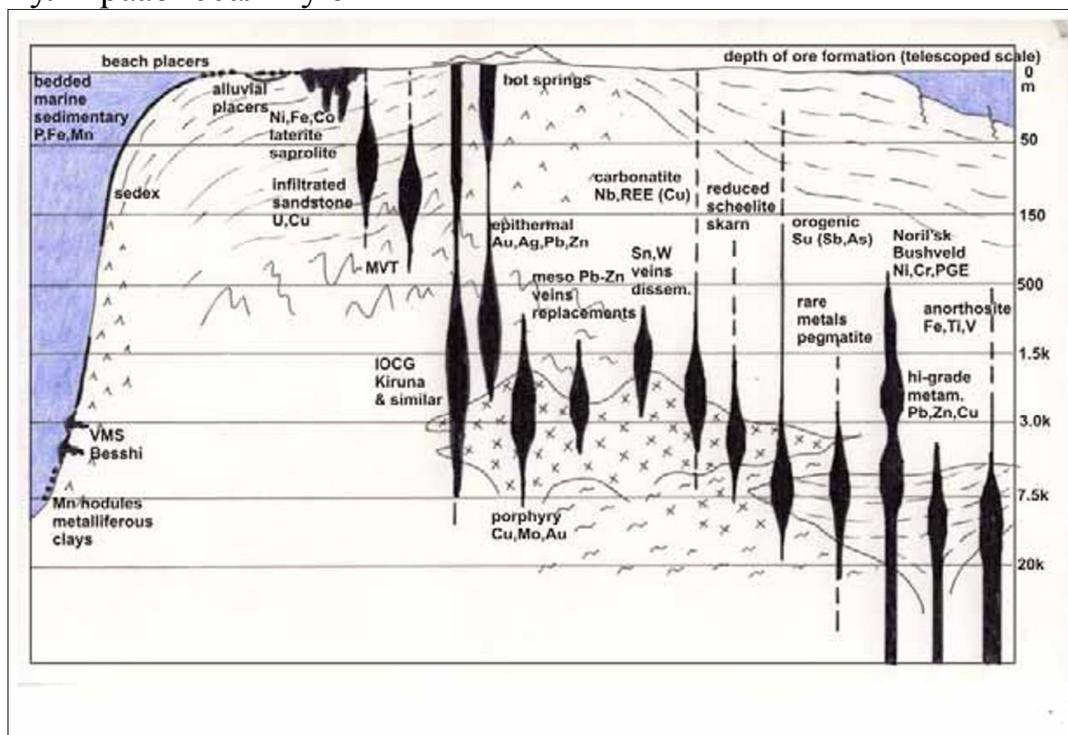


Figure 17.8. Depth (range) of selected ore type in the time of formation. From Laznicka (2010)

Приповерхностная зона развита от поверхности Земли до глубины 0.5 км и связана с осадочными, эффузивными и экструзивными породами. Для нее характерны месторождения цветных металлов, железа, марганца, золота, серебра, алмазов и др. Здесь же формируются все месторождения экзогенной серии. Характерно заметное

развитие "колломорфные" и мелкозернистых текстур и структур руд, развитие околорудных ореолов аргиллизации, цеолитизации, хлоритизации и окварцевания.

Гипабиссальная зона находится на глубине от 0.5 км до 5 км и наиболее богата разнообразием рудных образований. Здесь встречаются практически все промышленно-генетические типы эндогенных месторождений. Это - область преимущественного развития гидротермальных, скарновых, грейзеновые и магматических (в расслоенных интрузиях) скоплений ПИ. Месторождения этой зоны отличаются сложным составом руд, неравномерным распределением металлов в руде.

Абиссальная зона расположена на глубинах от 5 км до 10 км от поверхности. Месторождения этой зоны отличаются от других рядом признаков:

- простой минеральный состав;
- равномерное распределение ценных компонентов;
- преобладание кристаллических структур руд.

Здесь преобладают альбитит-грейзеновые, карбонатитовые, пегматитовые и часть магматических (хромитовые и титаномагнетитовые) месторождения.

Примером может служить золоторудное месторождение Колар в Индии, обрабатываемое на глубинах более 3 км (в настоящее время).

Ультраабиссальная зона распространяется на глубину свыше 10 км от земной поверхности до границы Мохоровичича (до 40 км - на континентах). До недавнего времени для этой зоны предполагалось редкие случаи образования месторождений метаморфического происхождения таких ПИ, как рутил, корунд, графит, флогопит и т.п. Главным "противопоказанием" для формирования месторождений иного типа считалось высокое давление, залечивающее любые возникающие трещины - проводники и места отложения рудоносных расплавов или растворов. Однако в результате проходки Кольской сверхглубокой скважины (глубина которой свыше 13 км) была обнаружена гидротермальная сульфидная минерализация (пирротин, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, борнит, молибденит и др.) на глубинах 6-11 км. Также здесь и в абиссальной зоне происходит метаморфическое преобразование ранее образованных руд (железо, марганец).

Т.о., в пределах тонкой верхней оболочки земной коры мощностью около 15 км - так называемой рудосферы, концентрация ПИ наиболее значительна на приповерхностном и гипабиссальном уровнях.

ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ МПИ

Длительность образования различных рудных объектов меняется в очень больших пределах: от нескольких суток до десятков и сотен миллионов лет. При этом необходимо различать разные уровни организации вещества (табл.)

Объекты рудного процесса	Возможная продолжительность формирования, лет
Отдельные кристаллы, прожилки, слои	0.01- $n \cdot 100$ (от первых дней до первых столетий)
Рудные жилы, зоны, пласты	$n \cdot 10^1$ - $n \cdot 10^3$ (десятки – тысячи лет)
Отдельные стадии и этапы минерализации	$n \cdot 10^4$ - $n \cdot 10^5$ (десятки – сотни тысяч лет)
Простые месторождения	$n \cdot 10^4$ - $n \cdot 10^6$ (десятки тысяч-

	миллионы лет)
Метаморфические и сложные полигенные м-ния	$n \cdot 10^6$ - $n \cdot 10^8$ (первые миллионы – сотни миллионов лет)
Рудные узлы и провинции	$n \cdot 10^5$ - $n \cdot 10^9$ (сотни тысяч – первые миллиарды лет)

Как правило, длительность формирования рудного вещества сопоставима с длительностью протекающих параллельно геологических процессов, и прежде всего - со временем образования горных пород (вмещающих рудные тела).

При оценке длительности процессов формирования месторождений используются:

1) непосредственные наблюдения за скоростью рудоотложения. Так, отложение арагонита из горячих минеральных источников Карловы Вары (Чехия) происходит со скоростью до 2 см/месяц. По данным А. Брейтгаупта, при извержении Везувия 1817 г трещина шириной 1 м заполнилась гематитом за 10 суток.

2) Экспериментальное моделирование. Например, по результатам недавних работ, кристаллы гипса в пещере Найка (Мексика) растут со скоростью метра за 500 и более тысяч лет (в зависимости от температуры раствора)



<http://news.nationalgeographic.com/news/2007/04/photogalleries/giant-crystals-cave/photo3.html>

3) Математическое моделирование рудного процесса.

4) Абсолютные датировки возраста рудных и сопутствующих минералов.

Например, расчётная длительность формирования флюоритовых жил на м-ниях Восточного Забайкалья составляет 25-32 тыс. лет. Продолжительность образования магнезиально-скарновой зоны мощностью 70 м на Леспромхозном железорудном месторождении (Горная Шория) равна 17 тыс. лет. Более длительные интервалы (5-10 млн лет) необходимы для формирования осадочных железорудных пластов или рудных комплексов расслоенных ультраосновных массивов (Бушвельд, ЮАР; Садбери, Канада).



Арагонит. Псевдоморфоза по бумажному цветку розы. Карловы Вары, Чехия.

http://geo.web.ru/druza/m-novmirK_45.htm

ИСТОЧНИКИ ВЕЩЕСТВА МПИ

Минеральное вещество ПИ может иметь различное происхождение и поступать из разных источников. Выделяют четыре типа *источников рудного вещества*:

- 1) ювенильный магматический, связанный с разнообразными магмами;
- 2) ассимиляционный, возникший при захвате расплавами ранее образованных минеральных масс;
- 3) фильтрационный - выщелоченный водными (напр., гидротермальными) растворами из вмещающих пород,
- 4) экзогенный, образованный в результате выветривания горных пород и переноса вещества в виде истинных растворов или взвесей в водные бассейны.

В седиментогенных (осадочных) и метаморфогенных месторождениях вещество может быть местным (автохтонным) или привнесенным (аллохтонным).

Способы отложения минерального вещества

Главными факторами, регулирующими концентрацию и выпадение минеральной массы МПИ, являются изменения температуры, давления и химизма среды. Из магматических расплавов при снижении температуры образуется часть месторождений эндогенной серии (магматические, пегматитовые и карбонатитовые). Из жидких водных и газовых (флюидных) растворов образуется остальная часть месторождений эндогенной серии (альбититовые, грейзеновые, гидротермальные), а также инфильтрационные и осадочные месторождения. Вещество, из которого при этом образуется ПИ, может находиться в виде взвеси, истинного или коллоидного раствора. В соответствии с этим, минеральное вещество газовых и жидких растворов отлагается вследствие:

- 1) механической садки (осаждения);
- 2) биохимической садки (в результате жизнедеятельности и отмирания организмов, накапливающих в себе ценные элементы);
- 3) коагуляции коллоидных растворов;
- 4) испарения и перенасыщения;
- 5) сорбции ценных элементов веществом твердой фазы;

б) химических реакций обмена и др.

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ МПИ

Месторождения полезных ископаемых являются закономерной составляющей земной коры. Их изучение осуществляется в следующем порядке.

1. Изучение геологического окружения и позиции в региональном плане. Используются карты масштаба 1 : 200 000 – 1 : 500 000.
2. Изучение структуры рудного поля. Карты масштаба 1 : 10 000 – 1 : 50 000.
3. Изучение условий залегания и морфологии рудных тел. Карты, планы, разрезы масштаба 1 : 2 000 – 1 : 500.
4. Изучение вещественного состава, структур и текстур руд.
5. На основании проведенных работ предлагается гипотеза о происхождении месторождения.

Методы изучения МПИ подразделяются на полевые и лабораторные. *Полевые работы* (основные), главным методом которой является геологическое картирование, должны определить:

- 1) положение тел ПИ в стратиграфическом разрезе,
- 2) связь (или ее отсутствие) с интрузивными породами;
- 3) состав вмещающих толщ;
- 4) тектонические условия;
- 5) морфология, размеры и состав рудных тел и т. п.

Для этих целей проходятся горные выработки, бурятся скважины, используются геохимические и геофизические методы и др.

Лабораторные (камеральные) исследования включают:

- 1) изучение состава минерального (и химического) сырья;
- 2) изучение его физико-технических свойств;
- 3) моделирование физико-химических процессов рудообразования.

При изучении рудных месторождений необходимо помнить о конвергентности и полигенности многих из них. Конвергенция - образование структур (объектов сходного типа из различных источников (например, современные самолеты разных стран очень похожи друг на друга благодаря учету законов аэродинамики, а не из-за копирования). Конвергентными называются месторождения, сходные по составу, строению и геологической позиции, но различающиеся по условиям образования. Полигенность (гетерогенность) месторождения означает, что в его формировании принимали участие различные геологические процессы и источники вещества.

Урок №3.

Тема: Деление месторождений полезных ископаемых

В соответствии с главными подразделениями геологических процессов и горных пород все месторождения полезных ископаемых подразделяются на три серии:

- эндогенную (магматогенную),
- экзогенную (седиментогенную),

- метаморфогенную.

Серии, в свою очередь, подразделяются на группы, а группы - на классы, а последние иногда - на подклассы. Классы и подклассы по необходимости подразделяются на формации МПИ. Рудной формацией называют естественное сообщество месторождений, объединенных сходством ассоциаций главнейших рудных минералов, сформированных в сходных физико-химических (температура, давление, состав растворов) и геологических (литология, тектоника) условиях. Основными критериями для выделения рудной формации являются:

- 1) повторяющиеся минеральные ассоциации с определенными количественными соотношениями рудных минералов;
- 2) взаимосвязь между устойчивыми минеральными ассоциациями и геологическими условиями их нахождения;
- 3) особенности химического состава руд и типоморфных элементов-примесей, в т. ч. - металлов-спутников.

Название формации определяется двумя главнейшими характеристиками:

- 1) состав ведущих минералов или элементов (металлов);
- 2) происхождение рудной массы (генезис).

Например, "медно-никелевая сульфидная магматическая", "магнетитовая скарновая" и др.

Помимо этого, существует понятие "геологическая формация", т. е. комплекс парагенетически связанных пород, содержащий оруденение. Различают:

- 1) рудогенерирующие г. ф., в которых промышленные руды - естественный компонент, возникающий при их образовании (магматические месторождения);
- 2) рудоносные, или рудовмещающие - содержат месторождения, но связь их с оруденением неопределенна;
- 3) рудообразующие - являются источником энергии и/или вещества при формировании месторождений.

Один или несколько рядов рудных формаций, объединенных по их связи с определенными типами магм и источниками вещества, выделяют в качестве генетических серий. Известны серии формаций, связанных с магмами: ультраосновного, базальтоидного состава, коровыми гранитоидами и др.

Для региональной оценки рудоносности используют понятие о металлогенической формации, под которой понимают комплекс парагенетически связанных горных пород магматического, осадочного и метаморфического происхождения и ассоциированных с ним МПИ, обусловленных единством происхождения в определенных структурно-формационных условиях.

Сводная генетическая классификация МПИ (по В. И. Смирнову, с изменениями и дополнениями)

Группа	Класс	Типы месторождений
Эндогенная серия		
Магматическая	1. Ликвационный	сульфидные медно-никелевые в основных и ультраосновных комплексах.

	2. Раннемагматический	а) магматические горные породы; б) алмазоносные кимберлиты и лампроиты; в) хромитовые, титаномагнетитовые и платиноидов в расслоенных ультраосновных комплексах; г) редкие, редкоземельные и рассеянные элементы в щелочных комплексах.
	3. Позднемагматический	а) хромитовые и титаномагнетитовые; б) апатит-нефелиновые; в) платиноидные
Карбонатитовая	Флюидно-магматический карбонатитовый	Перовскит-титаномагнетитовые, камафоритовые, редкометалльно-пироксеновые, редкоземельные и флюоритовые
Пегматитовая	1. Флюидно-магматогенный	Керамические, мусковитовые, редкометалльные и цветных камней
	2. Флюидно-метаморфогенный	Керамические, мусковитовые
Скарновая	1. Известковый	Железорудные, вольфрам-молибденовые, медно-молибденовые, свинцово-цинковые
	2. Магнезиальный	Железорудные, медно-молибденовые, оловорудные, борные, шпинелевые
	3. Силикатный	Железорудные (с кобальтом)
Альбитит-грейзеновая	1. Альбититовый	Урановые, ториевые, редкометалльные (Zr, Ta, Nb) и редкоземельные
	2. Грейзеновый	Литиевые, бериллиевые, олово-вольфрамовые, молибденовые, висмутовые
Гидротермальная	1. Плутоногенный	Штокверковые и жильные а) высокотемпературные медно-молибден-порфиоровые, золото-, олово-, медно-кварцевые; б) среднетемпературные полиметаллические сурьмяно-мышьяковые, редкометалльные, ураноносные (пятиэлементной формации); в) низкотемпературные сидеритовые, родохрозитовые, магнезитовые, хризотил-асбестовые, баритовые, флюоритовые
	2. Вулканогенный андезитовидный	Золото-серебрянные, олово-вольфрамовые, ртутные, медные, алунитовые, самородной серы

	3. Вулканогенно-осадочный, базальтоидный, субмаринный	Колчеданные, медно-колчеданные, колчеданно-полиметаллические
Экзогенная серия		
Выветривания	Остаточный и переотложенный	Никель-кобальтовые, бокситовые, редкометальные и редкоземельные, глин (каолиновых, бентонитовых), апатитовые, марганцевые
Осадочная	1. Механический россыпной	а) Гравийные, песчаные и глинистые (ПГС); б) Континентальные россыпные золотые, платиновые, касситеритовые, алмазные, колумбит-танталитовые, корундовые; в) Прибрежно-морские россыпные рутиловые, ильменитовые, циркониевые, касситеритовые, алмазные, цветных камней
	2. Хемогенный	а) Гидрооксидные, суспензионно-коллоидные: бурых железняков, марганца, железомарганцевых конкреций и корок; б) Сульфидно-сульфатно-карбонатные: цветных и редких металлов в черных сланцах; в) Сульфатно-галоидные: каменных, калийных, магниевых солей, боратов, лития
	3. Биохимический	Фосфоритовые (континентальные и прибрежно-морские), кремнистых пород (диатомит, трепел, опоки), известняков, угля, горючих сланцев, торфа
Эпигенетическая	1. Грунтовых вод	Медистых песчаников, уран-ванадиевые в палеоруслах
	2. Инфильтрационный	Редкометалльно-урановые
	3. Эксфильтрационный	Свинцово-цинковые в карбонатных породах, свинцовые в песчаниках, золоторудные и урановые в терригенно-карбонатных и черносланцевых толщах, самородной серы, нефти и газа, йодо-бромистых и металлоносных рассолов

Метаморфогенная серия		
Метаморфизованная	1. Регионально-метаморфизованный	Железорудные, марганцевые, золото-урановые, апатитовые, колчеданные
	2. Контактво-метаморфизованные	Железорудные, графитовые, корундовые,
Метаморфическая	1. Зеленосланцевый	Горного хрусталя, золото-кварцевые, мрамора, кварцитов, кровельных сланцев
	2. Амфиболитовый	Андалузитовые, кианитовые, силлиманитовые, наждака, амфибол-асбестовые
	3. Гранулит-эклогитовый	Гранатовые, рутил-эклогитовые, флогопитовые, алмазные
	4. Импактный	Алмазные

Итак, все месторождения полезных ископаемых условно разделяются на три серии: магматогенную, экзогенную и метаморфогенную. Каждая серия подразделяется на группы, а последние - на классы (таблица).

Магматогенные месторождения (иначе - эндогенные или гипогенные). Образование их связано с проявлениями магматической деятельности. В данной серии выделяют 6 групп. Первые две - *магматическая* и *карбонатитовая* - образуются из расплавов, связанных со средними, основными и ультраосновными магмами в процессе их дифференциации и ликвации.

Четыре остальных группы - *пегматитовая*, *альбитит-грейзеновая*, *скарновая* и *гидротермальная* - ассоциируют с кислыми, средними и щелочными магматическими комплексами, и формировались на позднеинтрузивной и постинтрузивной стадиях их становления, т. е. когда материнская интрузия почти или полностью застыла.

Экзогенные (или поверхностные, гипергенные, седиментогенные) месторождения формировались вследствие механической, химической и биохимической дифференциации (разделения и концентрации) вещества земной коры под влиянием солнечной энергии (и производных от нее). Традиционно здесь выделяют две группы: *выветривания*, связанную с древней и современной корой выветривания, и *осадочную*, формирующуюся при механическом разрушении тел полезных ископаемых при активном участии континентальных и морских вод, а также возникающую при механической, химической, биохимической и вулканической дифференциации минерального вещества в поверхностной части земной коры в процессе накопления осадочных толщ.

Метаморфогенные месторождения возникают в глубинных зонах земной коры под воздействием господствующих там высоких давлений и температур. В этой серии выделяют две группы рудных образований: *метаморфизованную*, объединяющую преобразованные в новой термодинамической обстановке ранее возникшие м-ния различного генезиса, и собственно *метаморфические*, образовавшиеся в результате метаморфогенной концентрации минерального вещества или обусловленные процессами гидротермально-метаморфогенного концентрирования рассеянных рудных элементов или их соединений (метаморфический процесс выступает здесь, главным образом, как источник разогретых растворов).

Урок №4.

Тема: Магматические месторождения

В магматическую группу входят месторождения, образовавшиеся в процессе дифференциации металлоносной магмы непосредственно из расплава. Полезным ископаемым при этом могут быть сами магматические породы (лабрадориты, уртиты). В этом случае весь интрузив может представлять собой месторождение. Чаще, однако, образование месторождений происходит следующими способами.

1. Рудносиликатная магма при охлаждении разделяется на две несмешивающиеся жидкости - силикатную и рудную, раздельная кристаллизация которых приводит к образованию ликвационных месторождений.
2. Рудные компоненты (металлы и др.) при затвердевании магмы входят в состав минералов ранних стадий кристаллизации, формируя раннемагматические м-ния.
3. Рудные компоненты накапливаются в процессе кристаллизации расплава в его остаточной фракции и кристаллизуются после затвердевания породобразующих силикатов, формируя позднемагматические м-ния.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ РАЗЛИЧНЫХ МАГМ



http://geo.web.ru/Lectures/Ariskin/lecture_05/800_fig_0001.jpg

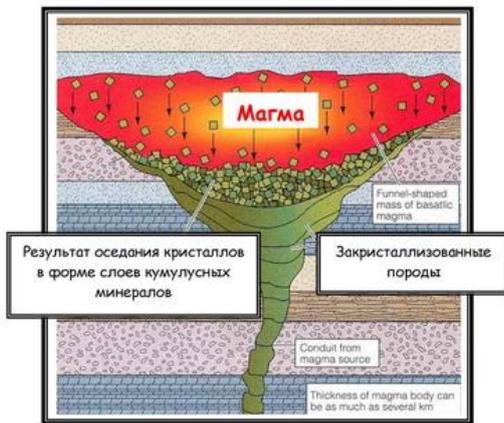
Как правило, магматические м-ния представлены смесью всех трех путей образования. Сложность проблемы связана также с неравномерностью, стадийностью и прерывистостью поступления порций расплава, часто разных по составу, к месту рудообразования. Однако условно по преобладающему типу сформировавшихся руд выделяют, соответственно, ликвационные, ранне- и позднемагматические месторождения.

Кроме того, в каждом классе выделяют две фации: глубинную и вулканическую.

Формирование магматических месторождений часто происходит в условиях растяжения земной коры, так как необходимо наличие:

- "пути" для расплава, поднимающегося к поверхности;
 - свободного объема, занимаемого расплавом при формировании интрузии.
- При вулканических извержениях второй пункт не играет существенной роли.

**СХЕМА ВАРИАЦИЙ ФАЗОВОГО СОСТАВА МАГМЫ В
ВОРОНКОВИДНОЙ ИНТРУЗИВНОЙ КАМЕРЕ**

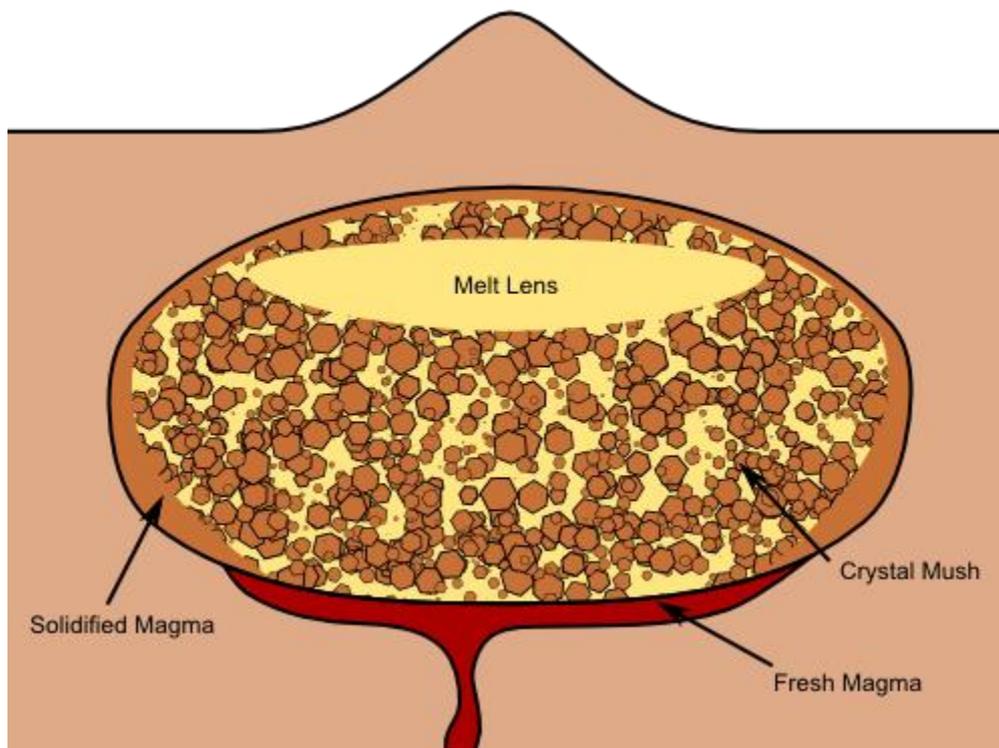


Геологическая модель камеры
(традиционные представления)



Результаты термофизических расчетов
динамики заполнения магмой камеры
(Шарапов и др., 1998)

http://geo.web.ru/Lectures/Ariskin/lecture_05/800_fig_0002.jpg



Sketch showing the general features of a magma chamber. Not to scale.
http://www.science20.com/tuff_guy/magma_chambers_part_ii_magma_mushes-84812

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

Главные факторы, определяющие ход минералообразования - химический состав магмы, температура, давление, концентрация рудных компонентов и состав окружающих пород.

Магма - силикатный расплав, поднимающийся из глубин Земли и являющийся источником формирования магматических месторождений. Характерные особенности этой группы м-ний следующие:

- месторождения связаны преимущественно с ультраосновными, основными и щелочными интрузиями;
- интрузии имеют повышенное содержание рудных компонентов;
- рудоносные интрузии, как правило, глубоко дифференцированы; недифференцированные интрузии обычно не содержат месторождений.

Температура исходной магмы была весьма высокой. Так, на глубине 100 км она может достигать 1500 °С. Понижение температуры при подъеме магмы к поверхности вызывает охлаждение расплава и его кристаллизацию - от сверхбыстрой (образование вулканических стекол) до весьма длительной (в крупных интрузиях). При переходе от ультраосновной магмы к кислой происходит понижение температуры кристаллизации расплава (от 1500 до 700 °С). Снижение температуры кристаллизации вызывается также накоплением летучих веществ (вода и др.) в расплаве. Поэтому самые поздние выплавки из интрузии застывают при значительно меньшей температуре, чем у исходной магмы в начале кристаллизации.

Давление при образовании интрузий также высокое. Оно обычно определяется литостатическим давлением вышележащих пород и увеличивается с каждым километром вглубь на 27,8 мегапаскалей (МПа). Другие единицы измерения давления соотносятся с данной величиной следующим образом: 1 атм. = 760 мм рт. ст. = 1 бар = 100000 (или 10^5) н/м² = 10⁵ Па. В частности, давление, необходимое для возникновения алмаза, составляет около 5000 МПа, что приблизительно соответствует 150-километровой глубине. Большую роль играет высокое внешнее давление, удерживающее летучие компоненты в расплаве. Резкое падение давления вызывает "вскипание" расплава и его кристаллизацию.

Концентрация химических компонентов (исходный состав расплава), как температура и давление, является термодинамическим параметром физико-химических процессов, происходящих в магме. От нее зависит последовательность кристаллизации минералов. Главную роль играют содержания кремнезема, глинозема и щелочей. По соотношению этих компонентов определяется тип магматических пород. Так, по содержанию двуокиси кремния выделяются ультраосновные (около 40 %), основные (40-52%), средние (52-65%), кислые (65-75%) породы; по концентрации щелочей - нормальные и щелочные породы. Щелочными бывают все из вышперечисленных разновидностей, это - независимый параметр!

Состав окружающих пород оказывает большое влияние на ход магматического рудогенерирующего процесса, особенно в случае их интенсивной ассимиляции (усвоения) магмой. Это вызывает резкое изменение химического состава расплава и его кристаллизацию.

Урок №5.

Тема: Пегматитовые, альбетит-грейзеновые месторождения

Термин "пегматит" ввел в геологический язык французский ученый Гаюи в начале XIX века для обозначения письменного гранита ("пегма" в переводе с греческого языка означает "крепкая связь").

Пегматит - разноминеральная (преимущественно - крупноминеральная) порода, залегающая в форме шпиров, гнезд, жил и др. тел, главные минералы которых те же, что и материнской магматической породы. Пегматиты и связанные с ними месторождения относятся к продуктам поздних стадий кристаллизации флюидно-силикатных расплавов, насыщенных флюидными компонентами.



http://geo.web.ru/druza/m-novmirK_27.htm

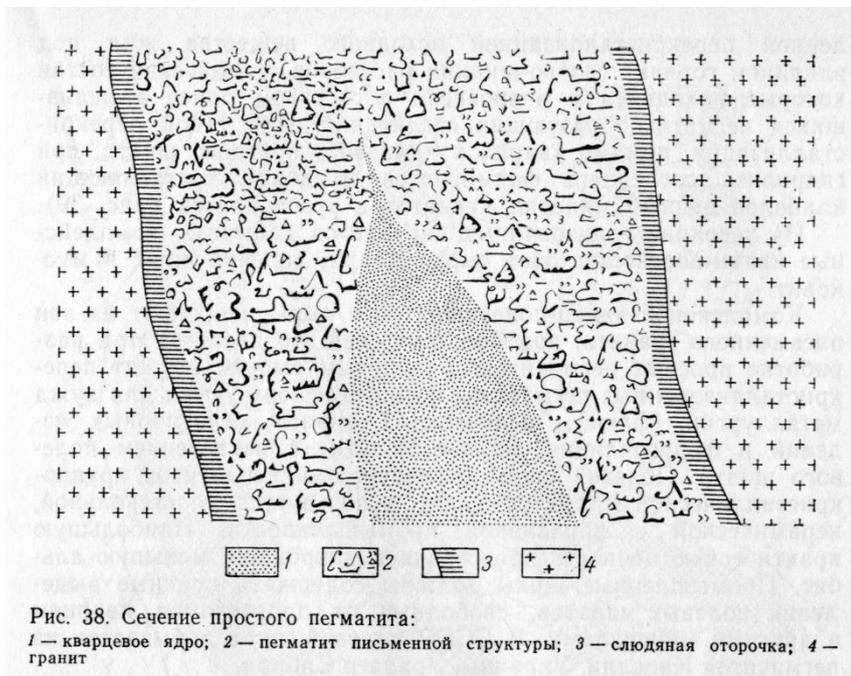
Типы пегматитов

Выделяют два класса пегматитов – флюидно-магматогенные и флюидно-метаморфогенные. Магматогенные пегматиты представляют собой позднемагматические образования, имеющие состав, близкий родоначальной интрузии. Наибольшей пегматитоватостью обладают интрузии с повышенной кислотностью или щелочностью, полной дифференциацией и многофазностью внедрения. Среди них установлено 4 минералого-геохимических типа: гранитный, гибридный (десилицированный), щелочной и ультраосновной.

1. Гранитные пегматиты связаны с интрузиями гранитоидов

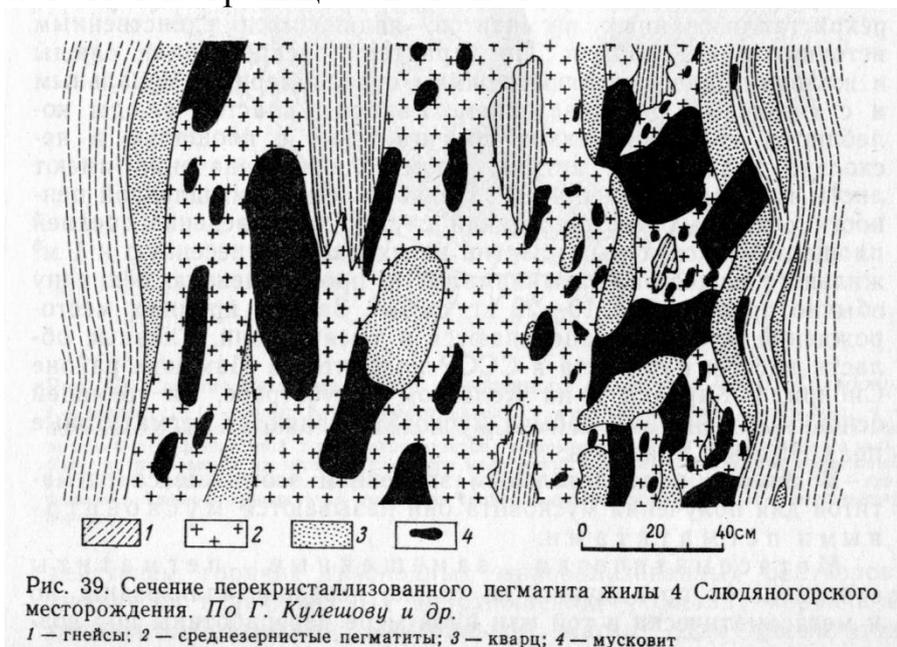
и сложены, главным образом, ортоклазом, микроклином, кварцем, альбитом, олигоклазом и биотитом. В качестве дополнительных присутствуют: мусковит, турмалин, гранаты, топаз, берилл, лепидолит (Li), сподумен (Li), флюорит, апатит, минералы редких и радиоактивных элементов и редких земель (TR). Эти пегматиты разделяют на две группы:

1) Простые недифференцированные пегматиты, сложенные главным образом микроклином и кварцем.



2) Сложные дифференцированные пегматиты. В этой группе выделяют следующие зоны и участки минеральных скоплений (от периферии - к центру);

- а) внешняя тонкозернистая мусковит-кварц-полевошпатовая оторочка мощностью несколько сантиметров;
- б) кварц-полевошпатовая масса с письменной и гранитоподобной (неяснографической) структурой;
- в) блоки крупнокристаллического микроклина;
- г) кварцевое ядро;
- д) неправильные скопления кварца, альбита, сподумена, минералов марганца и редких металлов на границе зон "в" и "г".





Ортоклаз, дымчатый кварц, шерл. Образец бсм. Мурзинское пегматитовое поле, Ср. Урал.

<http://geo.web.ru/mindraw/cristall2.htm>

Фотографии: Copyright © В. А. Слётов, 2005

Чем совершеннее степень дифференциации, тем большее число зон образуется. По мимо этого, с увеличением дифференцированности расплава возрастает количество скоплений с рудными элементами, укрупняются минералы, расширяется их число, сокращаются размеры зоны графической и гранитоподобной структуры; около пегматитовых тел образуются ореолы метасоматоза по восстанию до 50 м и до 10 м - по мощности. В этих ореолах выделяют две зоны: внутреннюю, представленную окварцеванием и микроклинизацией пород, и внешнюю, характеризующуюся новообразованиями хлорита, амфибола и цеолитов. В геохимических ореолах фиксируются аномальные концентрации бария (Ba), рубидия (Rb), лития (Li) и бериллия (Be).

2. (а) Гибридные пегматиты образуются при ассимиляции гранитной магмой различных пород. При этом происходит обогащение расплава элементами из захваченной породы и возникают дополнительные минералы соответствующего состава. Так, при переработке вулканитов основного состава отмечается увеличение содержания роговой обманки, Са-пироксенов, титанита, скаполита и др. обогащенных кальцием, магнием и железом минералов.

(б) Десилицированные пегматиты формируются при воздействии гранитного расплава на ультраосновные и карбонатные породы. В результате образуются плагиоклазиты (от альбититов до анортозитов). При пересыщении расплава глиноземом возникают корундовые плагиоклазиты.



Корунд (сапфир), уплощённые пинакоидально-призматические кристаллы в полевоом шпате, ширина поля 5см. Ильменские горы, Ю.Урал.

Copyright © В. А. Слётов, 2005.

<http://geo.web.ru/mindraw/cristall14.htm>

3. Щелочные пегматиты встречаются в щелочных магматических комплексах. Для них характерны: микроклин, ортоклаз, нефелин, щелочные пироксен (эгирин) и амфиболы, содалит, натролит. В качестве примесей отмечаются апатит, анальцим, минералы циркония, тантала, ниобия и редких земель.

4. Пегматиты ультраосновных магм состоят из бронзита, плагиоклаза (анортит-битовнита или лабрадор-андезина), оливина, амфибола, биотита. В небольших количествах отмечаются: апатит, гранат, сфен, циркон, титаномагнетит, сульфиды.

Минеральный состав

Соответствует материнским интрузивным телам (для магматогенных пегматитов), отличаясь значительно большим минеральным разнообразием.

Структура

Характерна графическая структура (ориентированное прораствание КПШ кварцем); мелко-, средне-, крупно- и гигантозернистая структура.

Текстура

Пятнистая, массивная, реже - полосчатая и др.

Структурно-тектоническая позиция

Пегматитовые месторождения широко распространены как на древних кристаллических щитах, так и в складчатых областях. Возникновение их приурочено к зонам столкновения континентальных литосферных плит (сутурная зона), и областям тектономагматической активизации платформ.

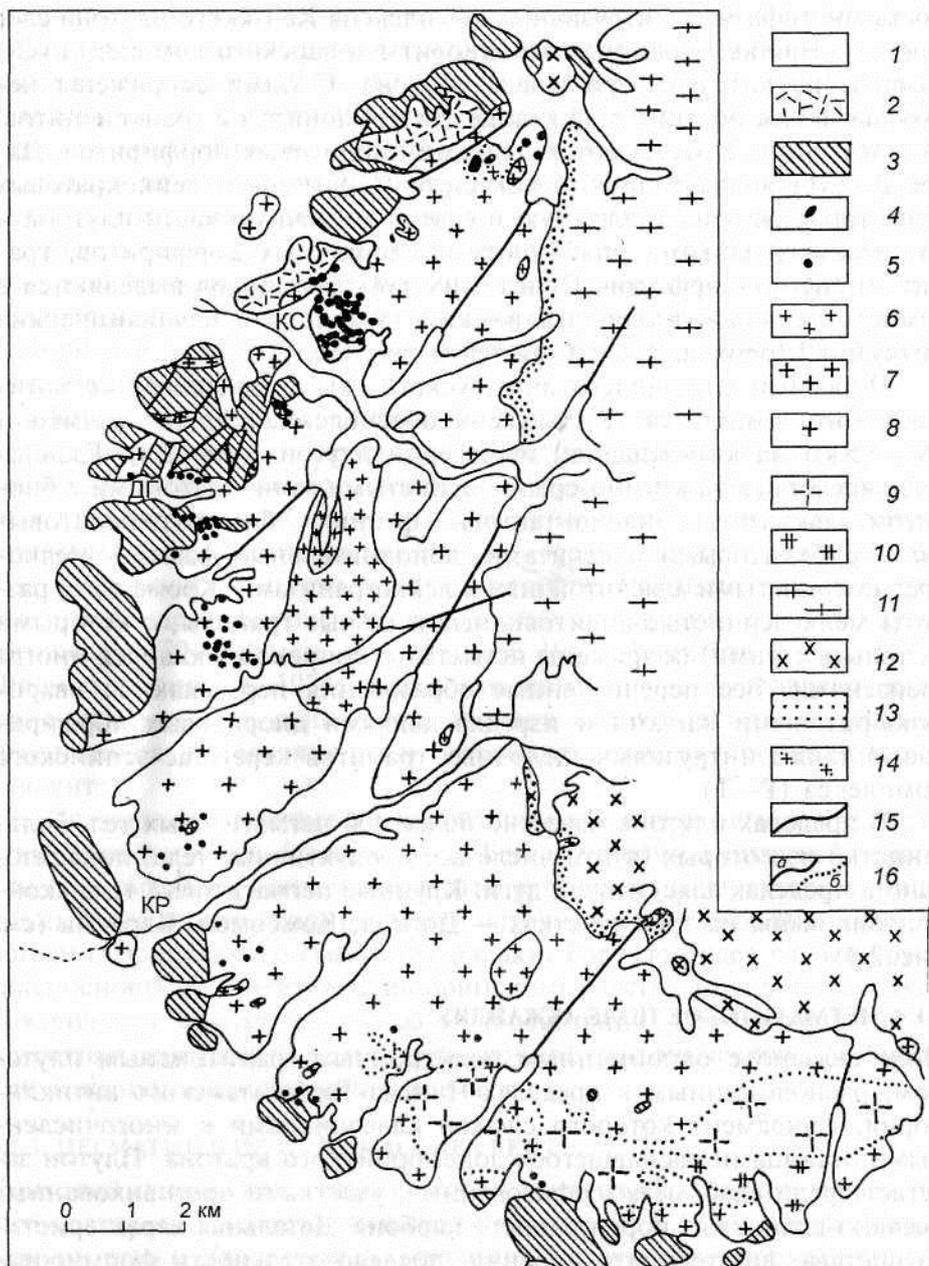
Геолого-структурная позиция

Магматогенные пегматиты залегают вблизи кровель интрузий и удалены от нее внутрь и наружу на расстояние до 2-3 км. Характерно поясное (цепочечное) распространение

пегматитоносных интрузий. Образование пегматитовых тел осуществляется путем заполнения возникающих полостей. Поэтому тектонический фактор играет весьма существенную роль в размещении пегматитовых тел, определяя их морфологию и условия локализации.

Условия образования

Магматогенные пегматиты представлены двумя группами образований - сингенетичной и эпигенетичной. Сингенетичные (шиповые, камерные) пегматиты располагаются всегда внутри интрузий и образовались одновременно с последними. Для них характерно отсутствие резких контактов и аплитовых оторочек, овальная форма и обилие миароловых пустот. Эпигенетичные пегматиты сформировались после затвердевания внешней части интрузии. Их тела размещаются как в материнской интрузии, так и за ее пределами, имеют жильные формы, резкие контакты, четкие аплитовые оторочки, контролируются тектоническими нарушениями.



Схематическая геологическая карта юго-западной части Кентского гранитоидного плутона (по В.Н.Ларину и М.В.Минцу). / — рыхлые отложения; 2—4 — вмещающие породы: 2 — архарлйнская и калмакэ-мельская свиты, эффузивы кислого и среднего состава, С₃; 3 — каркаралинская свита, метаморфизованные песчаники и роговики, С₁; 4 — керегетас-эспинский интрузивный комплекс, Р—Т, Мелкозернистые мезократовые рибекитовые микро-клин-альбитовые граниты; 5—10 — акчатауский (кызылрайский) интрузивный комплекс, Р: 5 — наиболее крупные пегматитовые тела, 6 — мелкозернистые миаролито-вые и пегматоидные аляскиты, 7 — мелко-среднезернистые порфиرويدные лейко-граниты, 8 — среднезернистые лейкограниты и аляскиты, 9 — то же, биотит-рибекитовые, 10 — то же, рибекитовые; 11 — калдырминский интрузивный комплекс, С₃: среднезернистые и мелкозернистые биотитовые лейко- и мезократовые граниты

Метаморфогенные пегматиты формировались в регрессивные стадии высоких фаций регионального метаморфизма и не связаны с магматическими комплексами; развиваются в пределах гранитогнейсовых блоков древних платформ и контролируются разрывными структурами сутурных зон и областей ТМА. В их составе присутствуют типоморфные метаморфические минералы - кианит, силлиманит, андалузит и др.

Время возникновения. Пегматиты образовывались во все периоды геологической истории, начиная с архейской. Масштабы этого процесса возрастают по мере эволюции земной коры, а рудная продуктивность - угасает (бериллий: 75% - в докембрийских пегматитах, 23% - в палеозойских и 2% - в мезозойских).

Глубина формирования.

По глубине образования пегматиты разделяют на четыре группы.

1. Пегматиты малых глубин (1.5-3.5 км) - хрусталеносные.
2. Пегматиты средних глубин (3.5-7 км) - редкометальные.
3. Пегматиты больших глубин (7-10 км) - слюдоносные.
4. Пегматиты весьма больших глубин (глубже 10 км) - кварц-полевошпатовые (керамические), иногда с редкоземельными минералами.

Т. о., пегматиты формируются в широком интервале глубин - от 1.5 до 20 км, что соответствует литостатическому давлению 120-800 МПа, или 500-2000 атм.

Температура. Пегматиты кристаллизуются в широком интервале температур. Температура начала кристаллизации составляет около 700-800 °С; температура кристаллизации биотита в пегматитах - 760-435 °С; ранний кварц - 600-540 °С; мусковит - 500-435 °С; берилл - 500-400 °С; промежуточный кварц и топаз - 510-300; поздний кварц - 300-130 °С; халцедон - 90-55 °С. Итак, собственно пегматитовый процесс протекает при температуре 600-200 °С.

Свойства формирующего флюида. Изучение минеральных включений в топазах из пегматитов показало, что плотность пегматитообразующего флюида была высокой, он содержал до 50 % SiO₂ и более 10 % воды.

Генезис пегматитов

Происхождение пегматитов до сих пор остается спорным, несмотря на усилия крупнейших геологов нашего века. В настоящее время существует пять основных гипотез пегматитообразования.

1. Магматогенно-гидротермальная гипотеза А. Е. Ферсмана и др. Согласно данной модели, пегматиты считаются продуктом раскристаллизации остаточной магмы. Процесс протекал непрерывно в закрытой системе при неограниченной растворимости H₂O и разделялся на пять условных этапов ("геофаз"): магматический (900-800 °С), эпимагматический (800-700 °С), пневматолитовый (700-400 °С), гидротермальный (400-50 °С) и гипергенный (ниже 50 °С). Этапы, в свою очередь, расчленяются на 11 фаз и стадий. На ранних стадиях формировались плагиоклазы, средних - микроклин и заключительных - альбит. Недостатки гипотезы: недоучет ограниченной растворимости воды в расплаве; проблема пространства (нужны большие открытые полости); не объяснена смена состава полевых шпатов.

2. Магматогенно-пневматолито-гидротермальная двухэтапная гипотеза американских геологов (Р. Джонс, Е. Камерон и др). На первом (магматогенном) этапе после внедрения расплава в полость в закрытой (или открытой только для выноса) системе по принципу фракционной кристаллизации формируются зональные пегматиты простого состава. На втором (пневматолитово-гидротермальном) этапе, в условиях открытой системы, происходила переработка простых пегматитов глубинными растворами и формирование сложных по минеральному составу участков. Недостатки: незначительные по масштабам следы выноса-привноса вещества за пределами пегматитовых тел.

3. Метасоматическая двухэтапная гипотеза А. Заварицкого предполагает преобразование любой исходной породы, близкой по составу к граниту. В первый этап остаточный флюид (газо-водный раствор) находился в химическом равновесии с вмещающими породами и перекристаллизовывали их без изменения состава (система закрыта). Во второй этап (в обстановке открытой системы) происходило растворение простых пегматитов и замещение их новыми минеральными ассоциациями. Недостатки: не объясняет формирование пегматитов в негранитных породах и отсутствие метасоматических ореолов, соответствующих масштабам привноса и выноса вещества.

4. Ликвационная гипотеза А. А. Маракушева и Е. Н. Граменицкого (касается генезиса только гранитных пегматитов). На примере шлировых пегматитов доказывается их тесная генетическая связь с материнскими гранитоидами. Связь эта базируется на близости химизма биотитов (железистость, глиноземистость, фтористость и др). Пегматитообразование представляет собой самостоятельный петрогенетический процесс, заключающийся в отщеплении от остаточной магмы особого флюидного расплава по механизму жидкостной несмесимости.

5. Метаморфогенная гипотеза разработана В.Н. Мораховским. Разработана она для многочисленных пегматитовых провинций и полей, развитых в фундаментах древних платформ, для которых отсутствует пространственно-генетическая связь с интрузивными комплексами. Образование этих пегматитов тесно связано с возникновением и развитием очаговых структур и протекает на фоне падения температуры и давления (регрессивный метаморфизм) в пять основных этапов.

1) В локальных участках растяжения возникают микротрещинные деформации во всем объеме пород. Возникновение растяжения обусловлено действием денудационной разгрузки и ротационных сил Земли. Такое поле "разрежения" способствует движению (подсосу) флюидов в очаговые структуры. Особенно высокое разрежение создается в полостях трещин отрыва.

2) За счет интенсивного протекания аутометасоматических процессов при участии калия и натрия (ранняя волна щелочности) происходит собирательная перекристаллизация и рост микроклина (К-полевой шпат).

3) При формировании систем сколовых трещин поясного типа в очаговую систему (на фоне волны кислотности) поступают кислые флюиды. Возникают ихтиоглипты ("рыбки") и крупноблоковые выделения кварца, отдельные кристаллы и гнезда турмалина, берилла и апатита. Намечаются основные контуры минеральных зон.

4) На фоне дальнейшего развития трещин поясного типа интенсивно образуются крупнокристаллические слюды (мусковит).

5) Происходит развитие серицита, альбита, кварца, хлорита, пирита, магнетита, ортита, кальцита.

В рассмотренных гипотезах спорными положениями являются представления о роли особого остаточного расплава, о масштабах метасоматоза, об источниках флюидов, о степени закрытости системы, о растворимости воды и др. Следует признать, что в настоящее время не существует единой концепции, объясняющей все разнообразие пегматитов. В конкретных геологических ситуациях сохраняют актуальность отдельные положения всех пяти гипотез.

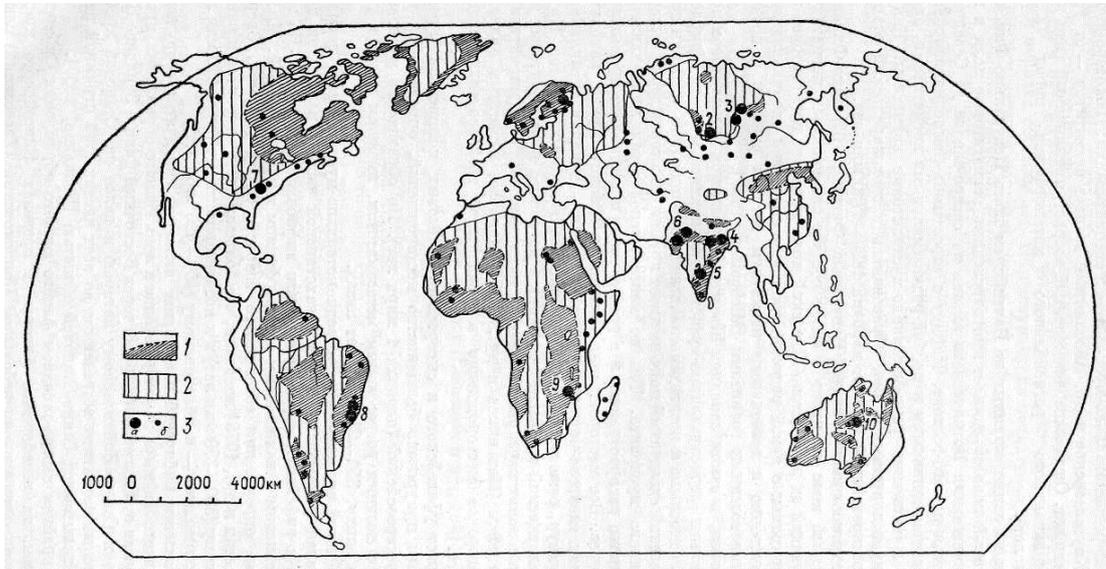


Схема размещения месторождений мусковита на континентах.

1 — выходы докембрийских пород; 2 — участки древних щитов, покрытые осадками; 3 — крупные слюдоносные провинции (а) и отдельные слюдоносные пегматитовые поля (б). Цифры на рисунке — пегматитовые пояса: 1 — Беломорский, 2 — Бирюсинский, 3 — Мамский, 4 — Бихарский, 5 — Неллурский, 6 — Радгастханский, 7 — Аппалачский, 8 — Восточно-Бразильский, 9 — Уругве, 10 — Аранта, Четыре крупнейших пояса (3, 4, 6 и 8) показаны двойными знаками.

Типы пегматитовых месторождений

Разделение осуществляется по ведущему типу полезного компонента.

1) Керамические пегматиты. Сюда относятся магматогенные и метаморфогенные простые и перекристаллизованные пегматиты, сложенные К-Na-полевыми шпатами и кварцем. Структура письменная, гранитоидная и гигантозернистая. Соотношение кварца и полевых шпатов в промышленных сортах сырья составляет 1/3. Пример: пегматиты Карелии.

2) Мусковитовые пегматиты. Представлены магматогенными и метаморфогенными (кианит-силлиманитовая фация метаморфизма) перекристаллизованными пегматитами. Запасы крупных месторождений достигают нескольких тысяч тонн. Наиболее значительные провинции мусковитовых пегматитов располагаются в России (Карелия и Забайкалье), Индии и Бразилии.

3) Редкометалльные пегматиты. Представлены магматогенными и метаморфогенными метасоматически замещенными пегматитами. Магматогенные формируют месторождения тантала и ниобия, небольшие месторождения олова, вольфрама, урана, тория, редких земель. Метаморфогенные (андалузит-силлиманитовая фация) образуют тантал-ниобиевые и редкоземельные месторождения. Этот класс месторождений широко развит в фундаментах всех древних платформ и в фанерозойских складчатых поясах, а также в областях тектономагматической активизации (Россия - Урал, Карелия, Сибирь и др; Бразилия; Австралия).

4) Месторождения цветных камней связаны с магматогенными и метасоматически замещенными пегматитами. Здесь особенно перспективны гранитные пегматиты. Им свойственны крупные (до 200 м³) открытые полости с друзами кристаллического сырья. Из этих месторождений добывают значительную часть горного хрусталя, оптического флюорита, топаза, аквамарина, граната, аметиста и др. драгоценных камней (Вольнь, Украина; Урал, Забайкалье, Россия; Бразилия, Южная Африка, Австралия и др. Часто

коренные месторождения служат источником образования крупных россыпей цветных камней (прибрежно-морские россыпи Индии, Мадагаскара и Австралии).



Турмалин в берилле, на ортоклазе. Ширина поля 3см. Пакистан.
Фотографии © В. А. Слётов, 2005-2007.

<http://geo.web.ru/mindraw/cristall5.htm>

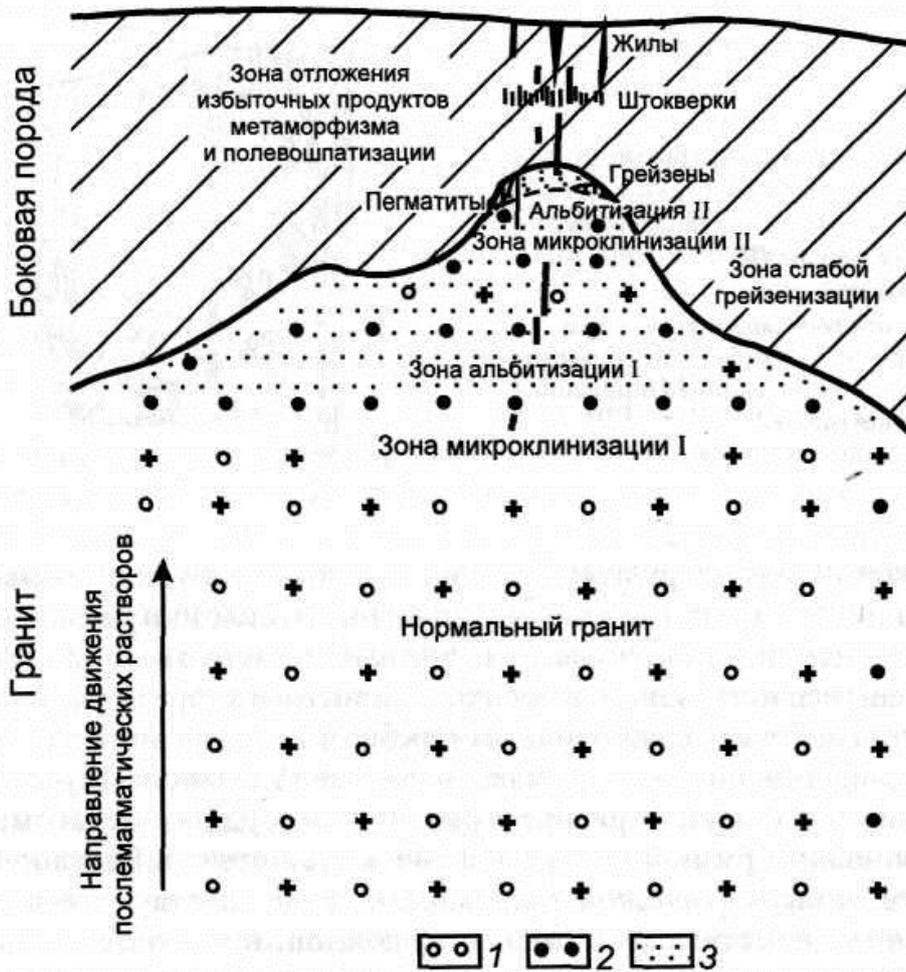


Эльбаит. Полированные срезы зональных кристаллов. Малханское м-ние, Ц. Забайкалье, Россия. (ОП-2406). Образцы: Мин. музей им. А.Е. Ферсмана РАН. Фото: © А.А. Евсеев

<http://geo.web.ru/druza/1-Malkhan.htm>

Следует упомянуть также о пегматитах как источнике коллекционного материала. Это - новый для России вид сырья, востребованность которого постепенно возрастает. Одним из главных источников коллекционных образцов, помимо гранитных пегматитов, служат щелочные пегматиты с их уникальными минеральными ассоциациями. Примеры: Хибинны, Ловозеро.

Альбититы и грейзены представляют собой метасоматиты, образованные постмагматическими или метаморфогенными пневматолито-гидротермальными флюидами. Их объединяет общность происхождения, локализации и источника вещества. Обычно зоны альбитизации и грейзенизации развиваются в апикальных частях массивов кислых и щелочных гипабиссальных интрузивных пород.



. Генерализованная схема вертикальной зональности в массиве грейзенизи-рованных гранитов по [Щерба и др., 1964]
 1—3 - измененные граниты: 1 - микроклинизированные, 2 - альбитизированные, 3 - грейзенизированные

Формирование этих метасоматитов началось с появлением на нашей планете больших масс гранитоидов (около 2.5 млрд лет назад) и продолжается до кайнозоя.

Региональная позиция месторождений. Интрузивные комплексы, формирующие альбититы и грейзены, встречаются в следующих условиях:

- 1) зоны столкновения "континент-континент" (заклительные стадии развития орогенных поясов);
- 2) вулcano-плутонические пояса (ВПП, магматические дуги) активных окраин континентальных плит;
- 3) зоны рифтовых систем и глубинных разломов (альбититы);
- 4) области тектоно-магматической активизации (ТМА) древних платформ.

Благодаря линейному характеру всех вышеназванных структур альбититовые и грейзеновые месторождения часто группируются в пояса.

Структуры месторождений. Облик залежей определяется следующими элементами:

- 1) напластование пород кровли;
- 2) сводовые полости купольного отслоения;
- 3) конусные и радиальные трещины вертикального магматического

давления;

4) кольцевые трещины проседания;

5) трещины отдельности остывания массива;

6) зоны взрывных (взрывных) брекчий;

7) упорядоченные системы трещин скола и отрыва;

8) неупорядоченная тектоническая трещиноватость, обуславливающая возникновение штокверков.

Особенности минералообразования

Воздействие горячих постмагматических растворов на интрузивные породы приводило к развитию процессов калиевого метасоматоза (ранняя микроклинизация) в ядерных частях массивов в обстановке повышенного давления. В этих же интрузиях вдоль верхней периферической части массивов в условиях падения давления протекала ранняя альбитизация. (См. рисунок ниже)

На фоне падения температуры с 620 до 450 (С и возрастающей кислотности раствора происходила смена раннего калиевого метасоматоза натриевым. В условиях максимальной кислотности, наступавшей в момент перехода флюида из пневматолитового (надкритического) в гидротермальное состояние, протекала стадия грейзенизации. Высокая кислотность обуславливалась появлением свободных кислых анионных компонентов в результате диссоциации неустойчивых ацидо-комплексов при появлении жидкой водной фазы. В условиях высокой активности фтора и бора из пород выносились щелочи, алюминий и многие элементы-примеси. По мере накопления щелочей и дальнейшего падения температуры кислотность раствора понижалась, и под его воздействием происходило мелкомасштабное образование позднего альбита и затем - микроклина.

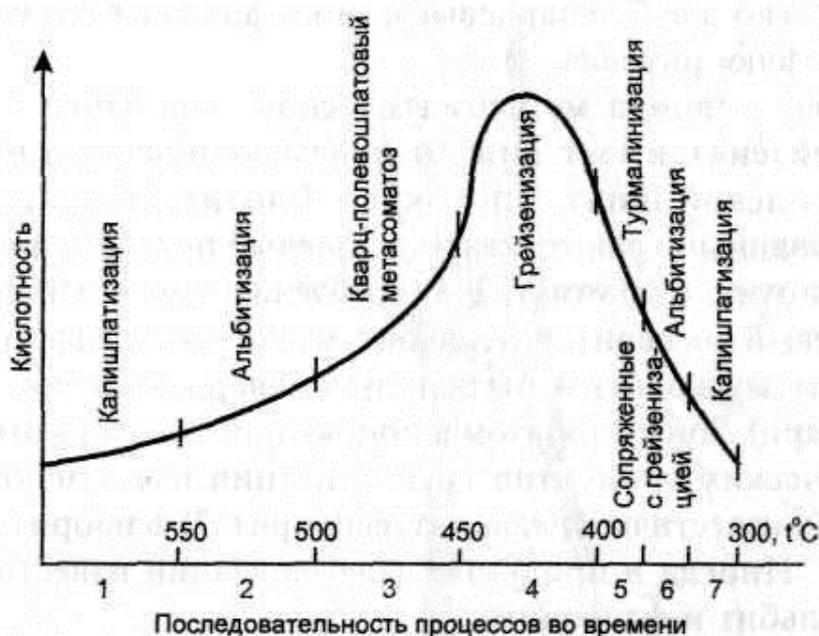


Схема эволюции кислотности и температуры постмагматических растворов во времени

Следует обратить внимание на то, что для наиболее ранних постмагматических образований (пегматиты, скарны, фениты и др.) характерны только метасоматические рудные тела, тела замещения жильного типа. (Исключение - в пегматитах - занорыши). Первые жилы выполнения появляются лишь в связи с грейзенами и с последующими гидротермальными формациями. Хронологически граница между чисто метасоматическим и комбинированным метасоматически-секреционным отложением минералов точно совпадает с моментом смены щелочного метасоматоза кислотным выщелачиванием.

Именно в стадию грейзенообразования давление растворов достигает критической величины, достаточной для раскрытия жильных трещин, т. е. превышающее давление гидроразрыва.

Флюидные потоки, фильтруясь через граниты нормальной и повышенной щелочности, альбитизируют апикальные части интрузий (особенно - выступы и апофизы), а избыток калия выносят и связывают в грейзенах, которые накапливаются на границе альбитизированных гранитоидов с вмещающими породами во вмещающих породах. При этом флюиды выщелачивают из гранитоидов ряд металлов, которые затем в метасоматитах образуют рудные концентрации. Для альбититов это (главным образом): цирконий (Zr), тантал (Ta), ниобий (Nb), торий (Th), уран (U), редкие земли (TR); для грейзенов – бериллий (Be), литий (Li), олово (Sn), вольфрам (W) и молибден (Mo), висмут (Bi). Выщелачивание и транспортировка в альбититах и грейзенах обеспечивается в основном фтором (больше фтора - богаче руды).

О масштабах процессов выщелачивания можно судить по следующим данным (В.Л. Барсуков): в неизмененных гранитах содержание олова составляет до 26 г/т, в зоне выщелачивания - 4-5 г/т.

По мере усиления общей щелочности процесса (щелочности исходных пород) объем альбитизированных пород возрастает, а грейзенизированных - падает. В связи с этим в природе обычно встречаются грейзены и альбититы встречаются раздельно. Пример сочетания грейзенов и альбититов - месторождение Кёстёр (северо-восточная Якутия, Sn), Этыка (Ta, Sn, Забайкалье). Одним из признаков сочетания альбититов и грейзенов является совмещение рудных ассоциаций (см ниже) в апикальном пространстве интрузивов.

Физико-химические условия образования

Альбититовые месторождения формируются на глубинах порядка 1.5-4 км, температура образования - 520-460 С. Процесс альбитизации протекает под воздействием надкритических гидрокарбонатно-натриевых растворов с общей минерализацией 10-15 мас.%. Среди катионов резко преобладает натрий, среди анионов - угольная, соляная, фтористо-водородная и кремневая кислоты. Ведущие факторы рудоотложения - падение температуры, изменение режима давления и показателя рН растворов.

Грейзеновые месторождения формируются на глубинах 1-4 км, что соответствует давлению 4.5-0.2 кбар, температура образования - 450-350 С. Давление в системе способно резко изменяться благодаря новым импульсам трещинообразования (в результате в трещины всасывается рудоносный раствор). Перегруппировка раствора приводит к переотложению ранее выделившихся минералов из сплошных метасоматитов в жилы выполнения. Концентрация рудоносного флюида последовательно снижается от 65 до 25 массовых процентов эквивалента NaCl, состав флюида - фторидно-хлоридно-калиево-натриевый. Примеси хлоридов Mg, Fe, Ca, Li в сумме не превышали 1 %.



Редкометалльный апогранит. Орловское месторождение лития и тантала
<http://encycl.chita.ru/illustration/index.php?id=3&page=31>

Альбититовые месторождения представляют собой тела и зоны, сложенные альбититами - лейкократовыми породами, в которых на фоне мелкозернистой основной альбититовой массы отмечаются порфировидные выделения кварца (горошковый кварц) и микроклина, а также слюд, щелочных амфиболов, реже - щелочного пироксена. В этих телах выделяются участки с промышленными концентрациями редких, редкоземельных и радиоактивных металлов. Основные рудные минералы: берилл, эвксенит $((Y, Ca, Ce, U, Th)(Nb, Ta, Ti)2O_6$, стрюверит $((Ti, Ta, Fe^{3+})O_6$, колумбит $(Fe^{2+}Nb_2O_6)$, танталит, микролит $(Ca, Na)_2Ta_2O_6(O, OH, F)$, пирохлор $(Ca, Na)_2Nb_2O_6(OH, F)$, фергюсонит (YNb_2O_4) , циркон.



Бетафит. Антанифуци\ Antanifotsy, Мадагаскар. Образец: ФМ (№25052, Lacroix A., 1925). Фото: © А.А. Евсеев.

http://geo.web.ru/druza/m-novmirK_50.htm

Урок №6.

Тема: Карбонатитовые месторождения

Карбонатитами называются эндогенные скопления карбонатов: кальцита, доломита, анкерита и др, пространственно и генетически связанные со сложными интрузиями пород ультраосновного и щелочного состава. Содержание карбонатов в них - более 50 % (если меньше, порода именуется карбонатитоидом), прочие минералы представлены, главным образом, оксидами и силикатами. Термин "карбонатиты" ввел в употребление норвежский ученый В.К. Бреггер в 1921 г при описании карбонатитового массива Фён в Норвегии. В настоящее время в мире известно более 400 щелочно-ультраосновных массивов с карбонатитами. Среди них крупнейшими являются: Араша (Бразилия), Гулинское (Сибирь), Ковдор (Кольский полуостров), Сокли (Финляндия) Альнё (Швеция), Палабора (Южная Африка).



Сёвит (Søvite) – кальцитовый карбонатит.

Close up of a søvite vein (calcite-carbonatite rock), showing bands of mafic minerals in the calcite, mainly mica of the biotite group. Photo taken 02.04.2007 by Peter Andresen.

Locality: Hydro Quarry, Hydro Vein, Fen Complex, Nome, Telemark, Norway

<http://www.mindat.org/photo-128244.html>

Карбонатиты являются относительно новым генетическим и промышленным типом месторождений, "канонизированным" в 50-х годах двадцатого века. Из них извлекают Ta, Nb, Zr, TR (лантан, церий, неодим и др), железные и фосфатные (апатит) руды, флогопит (вермикулит), флюорит, карбонатное сырье, а также Ti, U, Sr, Th, Pb, Zn, Mo, Cu и платиноиды, т. е. месторождения обычно являются комплексными. Бастнезит-паризит-монацитовые карбонатиты (Маунтин-Пасс, США) содержат основную долю мировых запасов редких земель (0.п - п % окислов TR в руде, до 20 % - в коре выветривания).

Месторождения ниобия содержат иногда до нескольких миллионов тонн Nb_2O_5 (содержание в руде в среднем 0.1-1 %, в коре выветривания - до 4.5 %). Запасы тантала составляют обычно несколько тысяч тонн при содержании Ta_2O_5 до 0.01-0.3 %). Важную роль играют апатит-магнетитовые карбонатитовые месторождения с форстеритом и флогопитом. Ковдор (Кольский п-ов) - несколько сотен миллионов тонн железной руды, содержание FeO 20-70 %, значительные запасы апатита (до 10-15 % P_2O_5 , в коре выветривания - до 25 %), и флогопита.



Бастнезит

http://klopotow.narod.ru/mineral/gallery/carbonat/bastne_2.htm

Структурно-тектоническая позиция. Формирование массивов протекало преимущественно на окраинах древних платформ (этап ТМА) в зонах крупных глубинных разломов.

Источник расплава - верхняя мантия.

Время формирования. От позднего докембрия до кайнозоя включительно.

Рудоносные массивы формируются в течение 10-100 млн лет в два этапа - раннемагматический и позднемагматический. Первый разделяется на 3 стадии:

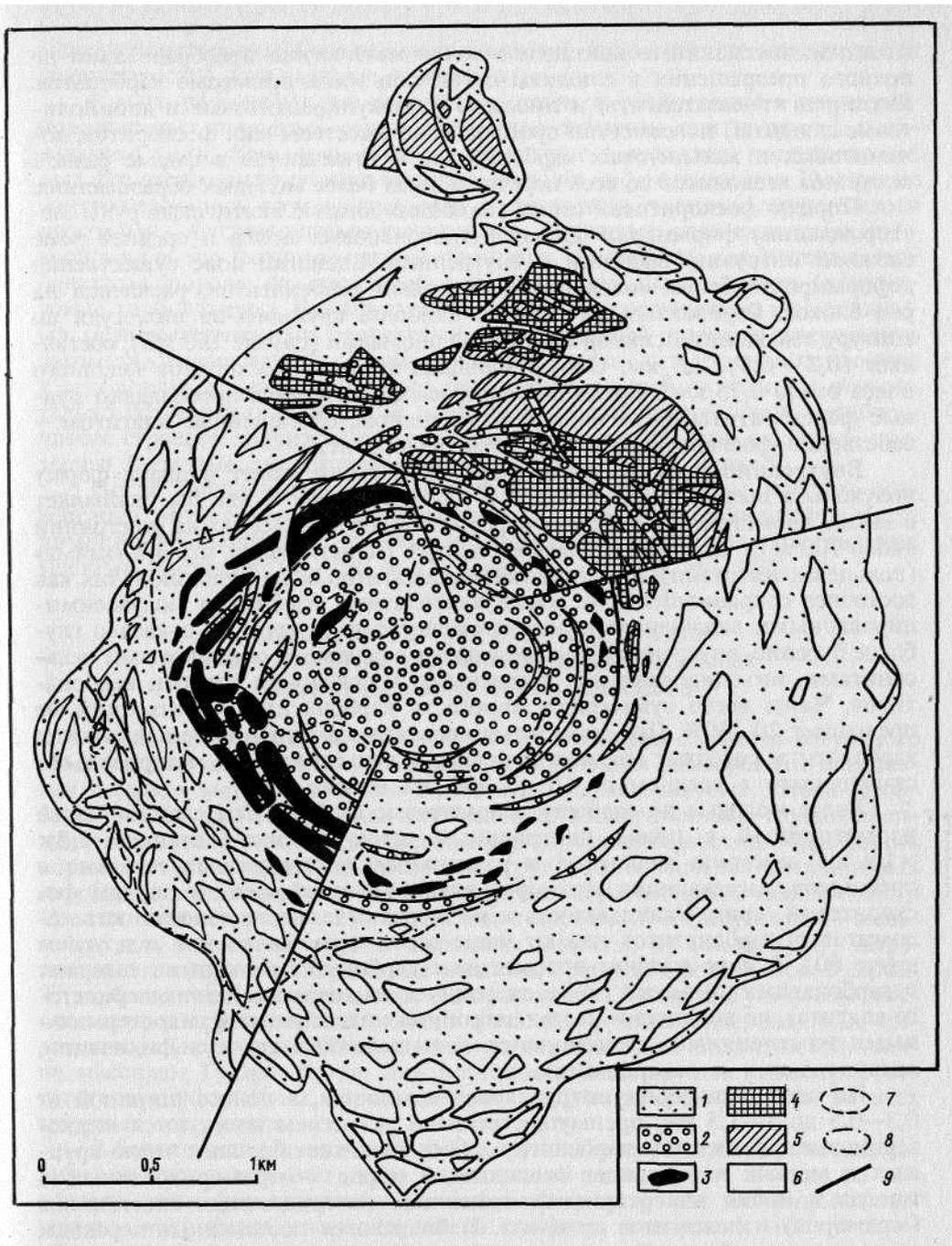
- 1) гипербазитовая (дуниты, перидотиты) (1350-1100 °С);
- 2) ийолит-мельтейгитовая (щелочные породы от якупирангитов до уртитов) (1100-630 °С);
- 3) нефелиновых сиенитов (750-620 °С).

Позднемагматический или собственно карбонатитовый этап разделяется на 4 стадии:

- 1) кальцитовую (сёвитовую) (630-520 °С);
- 2) магнезиокальцитовую (520-400 °С);
- 3) доломит-кальцитовую (400-300 °С);
- 4) доломит-анкеритовую (300-200 °С).

Установлена четкая последовательность минералообразования: кальцит - доломит - анкерит ($\text{Ca}(\text{Mg, Fe})[\text{CO}_3]_2$).

Карбонатиты обычно встречаются среди сложнопостроенных интрузивных комплексов (рис) ультраосновного щелочного состава кольцевого, или центрального типа. Подобное кольцевое строение массивов объясняется многоэтапным внедрением расплава различного состава. Карбонатиты всегда внедряются последними.



Схематическая геологическая карта массива Есей. Составил Л. С. Егоров с частичным использованием материалов А. А. Мальшева

Наиболее распространенными формами карбонатитовых тел являются штоки, кольцевые дайки и системы конических жил, падающих как к центру массива, так и от него; радиальные дайки; линейные жильные зоны, штокверки. Внедрения карбонатитов приурочены к контактам ранее внедрившихся фаз или к центральной части щелочного массива. Протяженность по вертикали - до 5-7 км.

Окружающие массив породы рамы подвергаются метасоматическому процессу фенитизации. Фенитизация проявляется в замещении исходных минералов пород на альбит, К-На-ПШ, нефелином, щелочными пироксеном и амфиболами. В эндоконтактах метасоматические изменения проявлены в виде возникновения нефелин-пироксеновых, пироксен-флогопитовых и пироксен-амфиболовых ассоциаций (по ранним магматическим породам).

Минеральный состав карбонатитов весьма разнообразен: карбонаты, щелочные пироксены (эгирин-диопсид), слюды (биотит, флогопит, тетраферрифлогопит),

щелочные амфиболы, апатит, магнетит. Для карбонатов (кальцита и др) характерны повышенные содержания фтора, стронция, бария и редких земель (F, Sr, Ba, TR).

Структура преимущественно зернистая (от мелкозернистых до гигантозернистых), размер зерен минералов уменьшается от ранних этапов карбонатитообразования к поздним.

Текстура массивная, иногда полосчатая. Характерны реликтовые текстуры замещения.



Нефелиновый сиенит

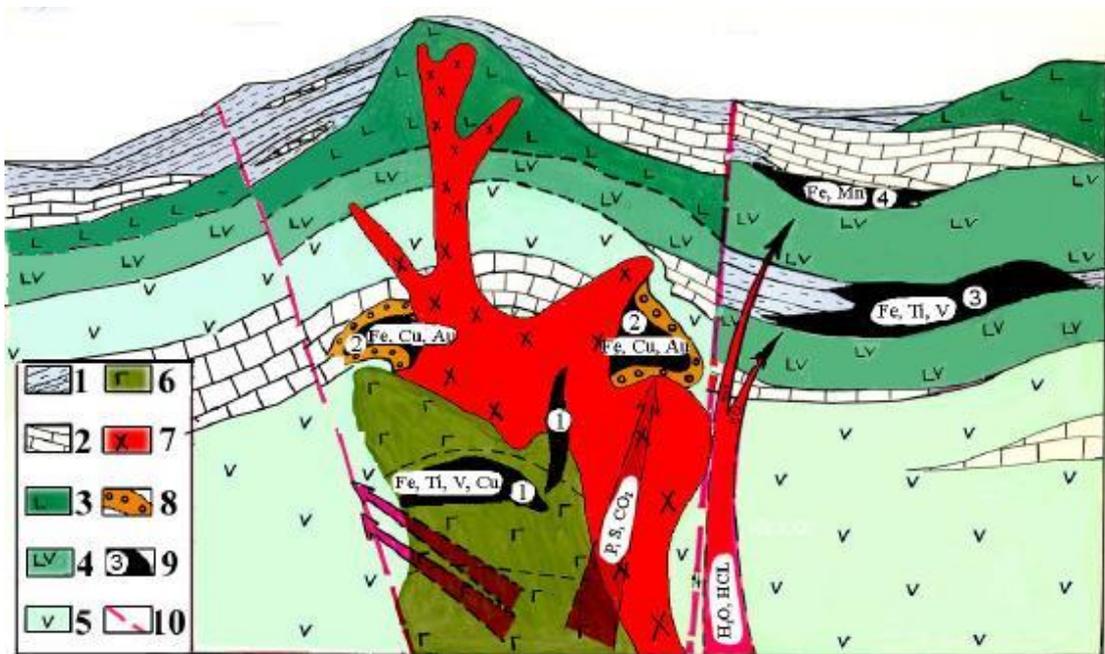
Главными способами образования минералов карбонатитовых тел являются:

- 1) магматический - кристаллизация из расплава;
- 2) гидротермальный - кристаллизация из раствора в пустотах
- 3) гидротермально-метасоматический - замещение минералов предшествующих стадий карбонатитового процесса;
- 4) аутометаморфический - перекристаллизация ранних крупнозернистых пластинчатых карбонатов в мелкозернистый агрегат.

Урок №7.

Тема: Скарновые, колчедановые месторождения

Скарнами обычно называют породы известково-силикатного состава, образовавшиеся метасоматическим путем чаще всего (но не всегда) в приконтактовой области интрузивов среди карбонатных, реже - силикатных пород. Выделяют экоскарны, располагающиеся за пределами интрузий, и эндоскарны, находящиеся внутри интрузий. *Эндоскарны* образуются после застывания интрузии, *экоскарны* - главным образом, до ее застывания.



Идеализированная схема размещения магнетитовых месторождений в вулcano-плутонической структуре.

1 – терригенно-карбонатные отложения; 2 – известняки; 3-5 – породы вулканической серии: 3 – эффузивы и их туфы, преимущественно базальтового состава, 4 – то же андезито-базальтового состава, 5 – то же андезитового состава; 6-7 – интрузивный комплекс, комагматичный вулканитам: 6 – габбро, габбро-диориты, 7 – диориты, кварцсодержащие диориты, диорит-порфириты; 8 – пироксен-гранатовые скарны; 9 – магнетитовые месторождения и их подтипы (цифры в кружочках): 1 – магнетитовые позднемагматические, 2 – собственно скарновые, 3 – скаполитовые, 4 – гидросиликатные; 10 – разрывные нарушения

Форма скарновых тел весьма разнообразна: пласты, линзы, штоки, трубы, жилы, гнезда, сложные комбинированные залежи.

Размеры рудных тел скарновых месторождений: обычно - до 200-500 м по протяженности и мощностью 10-60 м; наиболее крупные - до 1.5-2.5 км при мощности до 200 м.

По составу исходных пород скарны разделяются на три типа: известковые, магнезиальные и силикатные. Известковые скарны образуются по известнякам и наиболее распространены в природе (Тырныауз).

Минеральный состав (основные минералы): гранаты рядаgrossуляр-андрадит и пироксены ряда диопсид-геденбергит. Дополнительные минералы: везувиан, волластонит, скаполит, амфиболы и эпидот.



Гранат-андрадит с эпидотом, образец 8см. Дашкесан.
Фотографии: Copyright © В. А. Слётов, 2005

Магнезиальные скарны более редки (т.к. Mg-породы встречаются реже, чем Ca-породы) (Слюдянка). Они возникают при замещении доломитов и состоят из диопсида, форстерита, шпинели, флогопита, монтichelлита, гумита, серпентина, паргасита, людвигита и др. Магнезиальные скарны более высокотемпературные, поэтому эндоскарны в них образуются очень редко.

Силикатные скарны встречаются редко. Они формируются по силикатным породам с повышенным содержанием кальция: гранитоидам, порфирам и их туфам, траппам, аркозовым песчаникам и алевролитам. Типоморфным минералом для них является скаполит. Пример - Дашкесанское месторождение Азербайджана.

Обобщенная модель известково-скарновой зональной залежи выглядит так:

- 1) гранитоиды неизмененные;
- 2) гранитоиды осветленные (появляются дополнительный мусковит и полевые шпаты);
- 3) пироксен-гранатовые эндоскарны с эпидотом и плагиоклазом;
- 4) гранатовые экзоскарны;
- 5) пироксеновые (салитовые) экзоскарны;
- 6) мраморы или мраморизованные известняки.

Обобщенная модель магнезиально-скарновой зональной залежи:

- 1) интрузивная порода;
- 2) шпинель-пироксеновые экзоскарны;
- 3) шпинель-форстеритовые экзоскарны;
- 4) кальцифиры (силикатные мраморы);
- 5) доломиты.

Структура: гранобластовая, порфиробластовая, волокнистая, крустификационная.

Текстура: массивная, брекчиевидная, пятнисто-гнездовая, прожилково-вкрапленная, полосчатая. Характерно неравномерное распределение рудных минералов.

Геолого-структурная позиция: поверхность контакта интрузии (образование трещин); слоистость вмещающих интрузию пород; складчатые и разрывные нарушения; контакты алюмосиликатных пород и Са-эффузивов (для силикатных скарнов). Руды залегают обычно в телах скарнов. Различают фронтальные скарны, приуроченные к контакту интрузии (преимущественно биметасоматического происхождения), и жильные скарны (инфильтрационный генезис).

Время образования: с раннего докембрия до кайнозоя.

Распространенность: на всех континентах.

Структурно-тектоническая позиция: образуются на платформах в условиях ТМА, в вулканоплутонических поясах островных и окраинных дуг и зонах столкновения "континент-континент" и "континент-дуга" (уточнить). Группируются в рудные пояса. При этом обычно ассоциированы с:

- а) плагиогранитами, плагиосиенитами и траппами - производными базальтовой магмы;
- б) с гранодиоритами батолитов и гранитоидами малых интрузий – производными гранитной магмы.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

Скарны образуются в результате комбинированного воздействия тепла интрузий и горячих минерализованных газовой-жидких водных растворов. Состав растворов - преимущественно хлоридные анионы, Са и Na - катионы. рН - нейтральные растворы. Изменения во вмещающих интрузию породах протекают в два этапа.

1) При становлении любого интрузивного тела вмещающие породы испытывают термальный изохимический метаморфизм. По сланцам образуются роговики, по песчаникам - кварциты, по известнякам - мраморы. Зоны этих преобразований развиваются вокруг интрузии на любой глубине и при любом давлении.

2) Под влиянием тепла и флюидов, исходящих из интрузии, в ее экзоконтактах и затвердевших эндоконтактах протекали аллохимические метасоматические процессы, образовавшие скарны. Эти явления происходили на небольших глубинах, где внутреннее флюидное давление было в состоянии преодолеть литостатическую нагрузку. Оптимальный диапазон глубин скарнообразования 0.5-2.5 км (гипабиссальная зона).

Температура скарнообразования.

Скарны являются самыми ранними и высокотемпературными метасоматитами.

На основании геологических данных и экспериментальных разработок в настоящее время модель скарнового процесса можно представить в 4-стадийном виде:

1) Стадия контактового изохимического метаморфизма, протекающего при температуре 900-650 °С и сопровождающего внедрение магмы. Образуются ореол светлых, безрудных диопсидовых роговиков и мраморов. Безрудна.

2) Ранняя скарновая стадия (проявляется спорадически, занимая примерно одну десятую периметра интрузии). Температура - 650-500 °С. Возникают сухие (без водосодержащих минералов) темные эндо- и экзоскарны, состоящие из мелкозернистых пироксенов и гранатов, а также светлые (волластонит-плагиоклазовые) скарны. Безрудна.

3) Поздняя гидросиликатная стадия скарнообразования протекает при температуре 500-400 °С. Здесь возникают крупнозернистые перекристаллизованные гранаты и клинопироксены, скаполит, водосодержащие силикаты (гидрогранаты, роговая обманка, везувиан, эпидот, ильваит), магнетит и гематит, сульфиды, кварц, кальцит. Рудоносна. Гидросиликатные скарны образуют, как правило, систему гнезд и жилков в более ранних скарнах, а также обособленные жильные и штокверковые тела в роговиках и интрузивах.

4) Заключительная гидротермальная стадия. Температура 400-150 °С. Возникают разнообразные минеральные ассоциации (кварц, карбонаты, сульфиды и сульфосоли, гематит и др.), накладывающиеся на ассоциации предыдущих стадий. Рудоносна.

Собственно скарновая минеральная ассоциация возникает в интервале 900-500 °С.

Образование скарнов наиболее полно объясняется *инфильтрационно-диффузионной* гипотезой Д. С. Коржинского. Гипотеза базируется на концепции биметасоматоза, протекающего на разогретом контакте карбонатных и силикатных пород. Здесь возникает неравновесная химическая система и начинается встречно-диффузионный отток элементов из областей их повышенной концентрации. На фронтах подобных миграций происходят реакции между соединениями в растворе и между раствором и породообразующими минералами. При разной подвижности элементов в направлении к фронту диффузии будет происходить понижение их концентрации в растворе с различной скоростью, обуславливая зональность минеральных парагенезисов. Относительная подвижность зависит от температуры процесса. По степени подвижности элементы, участвующие в метасоматозе, разделяют на 4 группы:

1) весьма подвижные (H_2O , CO_2);

2) вполне подвижные (K, Na, Cl, S);

3) ограниченно подвижные (Ca, Mg, Fe, Si, O_2);

4) малоподвижные (инертные) (P, Ti, Al). Подвижность соединений из групп "3" и "4" весьма зависит от температуры и давления среды.

Урок №8.

Тема: Гидротермальные месторождения

К гидротермальным относятся месторождения, общим генетическим признаком которых является возникновение из глубинных горячих минерализованных растворов в результате рудоотложения в дренирующих структурах по ходу движения гидротермального потока.

Возникновение их происходило от раннего архея до наших дней, т. е. на протяжении всей истории развития земной коры.

Несмотря на большое разнообразие гидротермальных месторождений, они достаточно четко обособлены в морфологическом и генетическом плане от месторождений других групп.

Признаки гидротермального рудообразования следующие:

- 1) участие термальных водных растворов в формировании рудных тел;
- 2) эпигенетический характер по отношению к вмещающим породам;
- 3) привнос рудного вещества в зону рудообразования;
- 4) преобладание жильной формы рудных тел (простые и сложные жильные системы, штокверки);
- 5) наложенность (многостадийность) оруденения различных этапов рудообразования друг на друга (телескопирование);
- 6) большое разнообразие околорудных метасоматитов, главным образом - среднетемпературных;
- 7) устойчивый набор главных (сквозных) минералов, встречающийся почти во всех гидротермальных месторождениях (кварц, пирит, карбонаты и др.).

Связь гидротермальных месторождений с магматическими процессами:

- 1) генетическая (плутоногенное оруденение, устанавливается связь с материнской интрузией);
- 2) парагенетическая (близкоодновременное образование с субвулканическими и вулканическими образованиями - порождениями единого магматического очага);
- 3) агенетическая - пространственное совмещение интрузий и гидротермальных месторождений разных генетических эпох.

4) В случае **отсутствия видимой связи** (при отсутствии магматических пород) гидротермальные образования именуют *амагматическими* (в настоящее время эти месторождения относят к эпигенетической группе).

Как правило, при наличии большого рудогенерирующего магматического очага вокруг него образуется ореол гидротермальных месторождений. На зональность рудоотложения влияют многочисленные факторы (температура, давление, состав вмещающих пород и др) и она различна для разных групп и классов месторождений, формировавшихся в различных геологических обстановках. Различают (В. И. Смирнов) зональность первого рода, обусловленную стадийностью процесса рудоотложения, и второго рода, связанную с фациальной (соответствующей определенным условиям температуры, давления и др.) последовательностью выпадения из раствора минералов. Например, по температуре минералообразования ближе всего к источнику образуются высокотемпературные месторождения (W, Mo, Sn), затем - среднетемпературные (Cu, Co, Ni) и на максимальном удалении - низкотемпературные (Ag, Au, Sb, Hg). При исследовании зональности необходимо учитывать масштабный (региональная, локальная и объемно-векторный (вертикальная, горизонтальная, в плоскости жилы и др.) принципы.

На месторождениях выделяют три типа даек: дорудные, интратрудные и пострудные. Соответственно, дорудные и интратрудные дайки могут содержать оруденение, пострудные секут и метаморфизуют руды. Иногда оруденение приурочено именно к дорудным дайкам (Березовское месторождение, Урал).

Структуры земной коры. Гидротермальные системы приурочены к проницаемым зонам (глубинные разломы) и источникам повышенного теплового потока. Поэтому формирование их осуществляется практически на всех этапах цикла Уилсона.

Структуры месторождений. Главная форма гидротермальных рудных тел - жильная. Встречаются простые и сложные жилы, штокверки (приурочены к зонам дробления), трубообразные тела (по взрывным (эксплозивным) брекчиям). Различают жилы выполнения (рост минералов в свободном пространстве трещины) с резкими контактами, и жилы замещения (метасоматический рост в твердом субстрате) с расплывчатыми и неровными контактами. Существуют жилы с признаками как свободного (в центре), так и метасоматического (по зальбандам (краям)) минералообразования (нужен рисунок). Встречаются зоны рассеянного вкрапленного оруденения метасоматического генезиса в пористых породах. Ориентировка рудных тел определяется тектоническими разрывными нарушениями, проницаемыми для растворов во время рудообразования (трещины скола и отрыва), литологией: а) пористые и легкорастворимые породы, благоприятные для рудоотложения; б) слабопроницаемые породы, выполняющие роль "экранов" для гидротерм, и др. (см альбититовые и грейзеновые месторождения).

ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД И ОРУДЕНЕНИЕ

Околорудные изменения вмещающих горных пород - совокупность изменений, с которыми генетически связано образование руд. Эти изменения могут происходить до, одновременно и после отложения руд. Соответственно, выделяют предрудный (обычно - наиболее значительный по масштабам), рудосопровождающий и пострудный метасоматоз. Основная масса околорудных (или рудоносных) метасоматитов связана с эндогенными постмагматическими процессами.

Признаки (критериями) парагенетической связи измененных пород и руд [Омельяненко Б. И. Околорудные гидротермальные изменения пород. М. Недра, 1978, 215 с.]:

- 1) Аналогичные геолого-структурные условия локализации.
- 2) Близкий возраст измененных пород и оруденения.
- 3) Четкая пространственная связь гидротермально измененных пород и оруденения.
- 4) Близкая температура образования парагенезисов минералов метасоматитов и руд.

5) Статистическая устойчивость приуроченности определенного типа рудной минерализации к метасоматитам данного типа (металлогеническая специализация метасоматических формаций).

6) Сходство геохимических особенностей метасоматитов и руд.

Образование руд и рудоносных (околорудных) метасоматитов - это единый рудно-метасоматический процесс минералообразования, в котором по масштабу обычно преобладает процесс изменения вмещающих пород, а рудоотложение является менее значительной частью этого процесса. В то же время для нас подстадия рудоотложения считается главной из-за своего практического значения.

Для метасоматического минералообразования характерны свои особенности, отличающиеся от деталей формирования магматических и метаморфических пород, а также от жильных тел выполнения открытых полостей.

Уменьшение числа минералов в метасоматических зонах по мере увеличения интенсивности процесса, вплоть до образования мономинеральных зон - *наиболее характерная отличительная черта метасоматических процессов.*

Урок №9.

Тема: Месторождения выветривания. Россышные месторождения. Месторождения четвертичных отложений.

В данную группу отнесены месторождения, образование которых непосредственно связано с процессами выветривания. Они включают месторождения бокситов (около 95 % мировых запасов Al), железа, марганца, никеля, кобальта, редких металлов, золота, каолина, апатита, магнезита, талька, барита, цеолитов, монтмориллонита, маршаллита и камнесамоцветного сырья. Часто эти месторождения включают как металлические, так и неметаллические полезные ископаемые.

Геотектоническая позиция. Подавляющая часть рассматриваемых месторождений связана с процессами выветривания, проходящими в континентальных условиях (V стадия цикла Уилсона). Некоторые типы месторождений (бентонитовых глин, цеолитов) обусловлены подводным выветриванием (гальмиролизом) на морском дне.

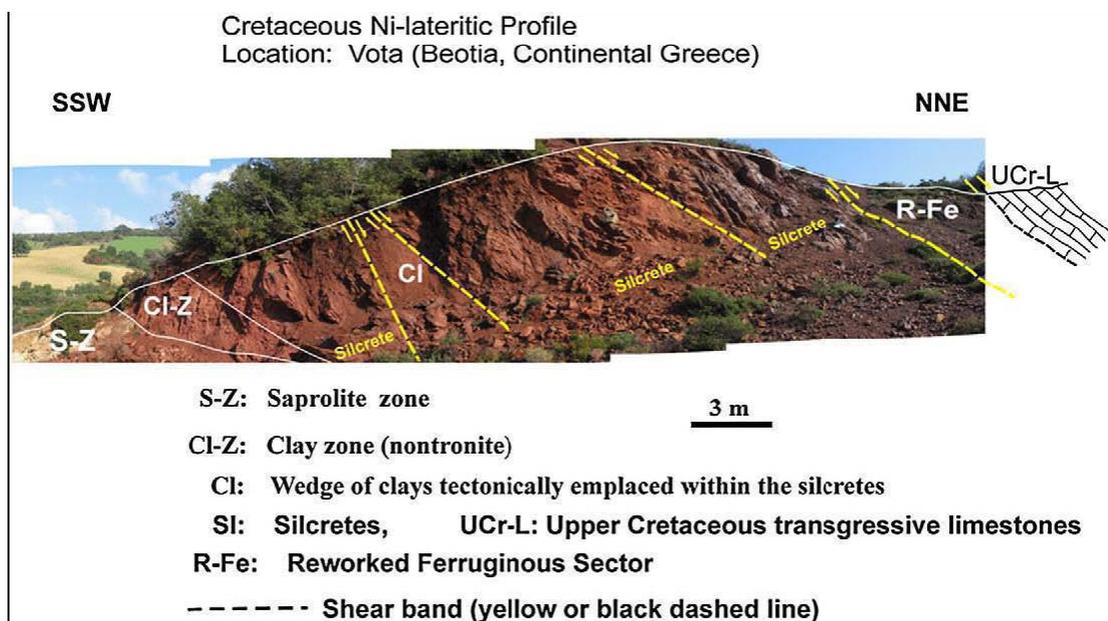


Fig. 04.07. Nickel laterite deposit (outcrop profile) at Vota (Boeotia, Central Greece) (source: N. Skarpelis).

Условия образования месторождений в коре выветривания

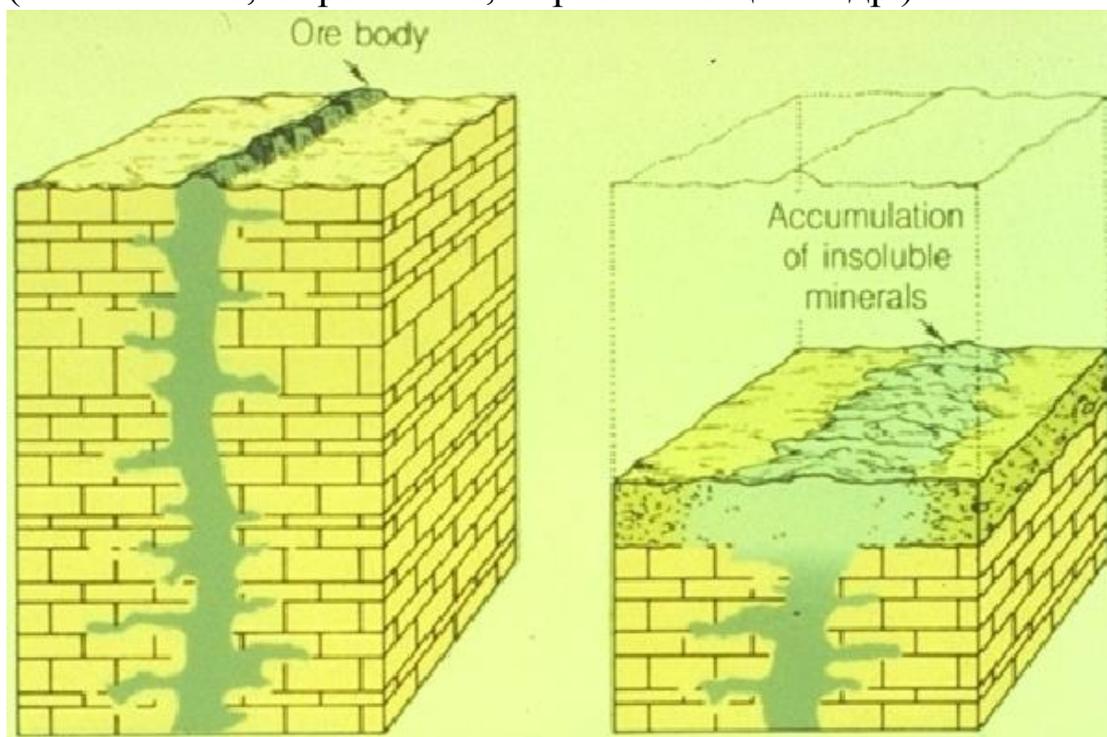
Минералы. В приповерхностных условиях из главных породообразующих минералов устойчивы кварц, мусковит, кислые плагиоклазы и микроклин. Из акцессорных и рудных минералов - хромшпинелиды, топаз, турмалин, циркон, гранаты, золото, платиноиды и др. Неустойчивыми минералами являются основные плагиоклазы, биотит, амфиболы, пироксены, слоистые алюмосиликаты, сульфаты и карбонаты, сульфиды и органическое вещество углей, нефти и углеродистых сланцев.

Основными агентами преобразования горных пород в коре выветривания являются: вода, кислород, углекислый газ, кислоты, микроорганизмы, колебания температуры.

Главными процессами, обуславливающими разложение минералов в коре выветривания, являются: окислительно-восстановительные реакции с участием кислорода, серы, железа и углерода; реакции обмена, происходящие из-за изменения химического состава и кислотно-щелочных условий; гидролиз силикатов. Конечными продуктами глубокого химического преобразования минералов в корях выветривания являются глинистые минералы, простые окислы и гидроокислы. Также могут формироваться карбонаты, сульфаты, сульфиды, фосфаты (апатит, черчит, вивианит). Все они составляют группу новообразованных минералов и, как правило, слагают дисперсные фазы.

В зависимости от интенсивности химического выветривания в различных климатических условиях в корях выветривания выделяется от одной до четырех вертикальных зон (нужен рисунок). Кроме того, принято различать разные профили выветривания (минеральные типы кор выветривания), которые в целом соответствуют вертикальным зонам (снизу вверх):

Месторождения выветривания могут быть неизменными, а также переотложенными и преобразованными. *Переотложенные залежи* возникают вследствие некоторого смещения выветрелой минеральной массы по склону местности. *Преобразованные тела* коры выветривания формируются в связи с дополнительным привнесом (инфильтрацией) соединений, не входящих в состав первоначальных продуктов разложения (ожелезнение, окремнение, карбонатизация и др.).



Concentration of ore deposits by weathering processes ==> secondary or supergene enrichment.

<http://www.geology.ohio-state.edu/~vonfresc/gs100/lect24/index.html>

Залежи месторождений выветривания могут быть *открытыми*, выходящими на поверхность, и погребенными под более молодыми осадками. Выделяют современные (четвертичные) и древние коры выветривания. Последние возникали в более ранние эпохи и иногда метаморфизованы.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ барьеры КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ

В корях выветривания распространены сорбционный, окислительно-восстановительный, кислотно-щелочной (pH), в меньшей степени - испарительный и механический геохимические барьеры. На окислительном барьере могут накапливаться руды железа, марганца, меди, ванадия, селена, церия, на восстановительном - урана, меди, ванадия. При изменении pH и в результате обменных реакций концентрируются никель, кобальт, бериллий, молибден, серебро, золото. Здесь же возникают магнетит, барит, апатит, целестин, стронцианит. Сорбционные концентрации характерны для радия, урана, лития и редких земель. Испарительный барьер действует в пустынных условиях, где могут концентрироваться уран, радий и ванадий. Механическим путем в результате гравитационной просадки возможна

концентрация тяжелых и устойчивых химически минералов - золота, платиноидов, касситерита и др.

Органическое вещество играет весьма значительную роль:

- 1) деятельность микроорганизмов (разложение минералов, создание повышенных концентраций серы, водорода и др. реагентов, осаждение полезных компонентов);
- 2) перенос металлов органо-минеральными соединениями;
- 3) сорбция металлов
- 4) создание восстановительного геохимического барьера.



Горный массив, сложенный сульфидизированными песчаниками. Якутия.

ПРИЗНАКИ ОСТАТОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Характерными чертами месторождений, сформированных в результате процессов выветривания, являются:

- 1) связь с влажным и жарким климатом;
- 2) приуроченность месторождений к эпохам выравнивания;
- 3) локализация месторождений в определенных зонах вертикального разреза кор выветривания;
- 4) преимущественно плащеобразная форма рудных тел;
- 5) слабая сцементированность вмещающих пород, рыхлые, пористые, цементные, каркасные текстуры; "колломорфные" и тонкодисперсные структуры руд.

В жаркой гумидной (влажной) обстановке процессы перераспределения вещества происходят наиболее интенсивно. Высокая влажность и положительная среднегодовая температура способствуют мощному развитию растительно-животного и почвенного покрова и глубокому распространению органического вещества, обогащающего

подземные воды. Все это определяет высокую интенсивность биохимического выветривания.

Наиболее крупные и многочисленные месторождения кор выветривания встречаются в геологических формациях, образованных в глобальные эпохи развития интенсивного химического выветривания. Выделяют архей-протерозойский, палеозойский (девон), мезозойский (позднетриасовая - раннеюрская и раннемеловая эпохи), кайнозойский (олигоцен-миоценовая эпоха). Эти эпохи увязывают с периодами глобального потепления и широкого распространения тропического климата.

Широкое распространение кор выветривания было обусловлено затуханием вертикальных дифференцированных блоковых движений земной коры и высоким стоянием континентов. Эти обстоятельства послужили причинами выравнивания обширных континентальных территорий. Это выравнивание отчетливо фиксируется синхронной региональной поверхностью несогласия в осадочных разрезах. Поэтому часто образования кор выветривания залегают в основании осадочного чехла.

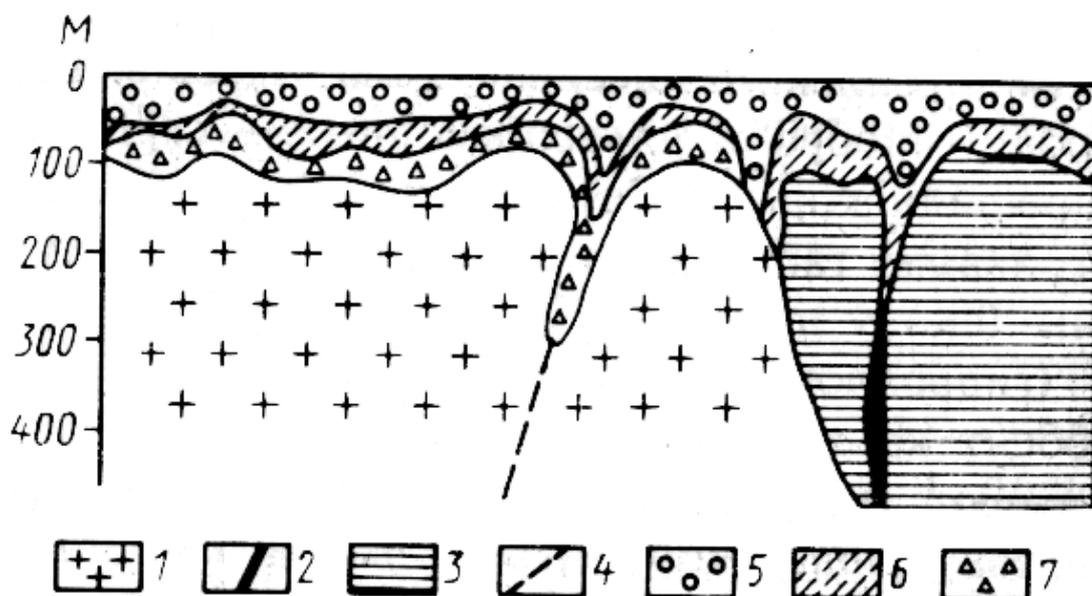


Схема строения древней коры выветривания на гранитах Урала (по В.П. Петрову):

1- граниты, 2- жилы пегматита, 3- сланцы, 4- тектонические разрывы, 5- зона дресвы, 6- гидрослюдистая зона, 7- каолинитовая зона

Одной из ярких особенностей рассматриваемых месторождений является их приуроченность к определенным вертикальным горизонтам (зонам) кор выветривания соответствующего профиля.

С корами *гидрослюдистого* профиля, которые непосредственно залегают на дезинтегрированных коренных породах (структурном элювии), связаны лишь элювиальные россыпи, расположенные в нижних горизонтах этих кор.

В более проработанных образованиях *каолин-гидрослюдистого* профиля находятся месторождения глин и каолинита. Каолинит обычно развивается по гранитоидам и слагает мощные плащевидные залежи (нужен рисунок). Если выветриванию подвергаются кремнистые породы, могут возникать маршаллиты. В некоторых случаях с глинисто-каолиновым профилем связаны месторождения фосфоритов, магнезита и бирюзы.

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Совокупность благоприятных условий образования месторождений в корах выветривания можно разделить на две группы. Первая группа включает предпосылки образования мощных и интенсивно развитых кор. Она включает уже упомянутые

проявления тропического климата, приуроченность к глобальным эпохам выветривания, наличие каолин-гидрослюдистых и латеритных профилей выветривания.

Вторая группа объединяет ряд дополнительных условий:

- состав исходных пород;
- тектонический режим;
- пенепленизированный (выровненный) рельеф;
- активный водообмен и глубокие уровни грунтовых вод;
- длительность формирования.

Состав исходных пород во многом определяет вид минерального сырья, возникающего в коре выветривания. Благоприятным фактором считается широкое распространение пород, изначально обогащенных полезными компонентами. Например, по богатым глиноземом (Al_2O_3) породам развиваются бокситы (Боке, Гвинея); по ультраосновным породам, обогащенным Ni, Co, Fe - месторождения соответствующих руд (Халиловское, Уфалейское месторождения Урала); и др. Значительную роль играет устойчивость пород к выветриванию. Лучше всего корообразование протекает по слабоустойчивым породам (гипербазиты, вулканический пепел и др.).

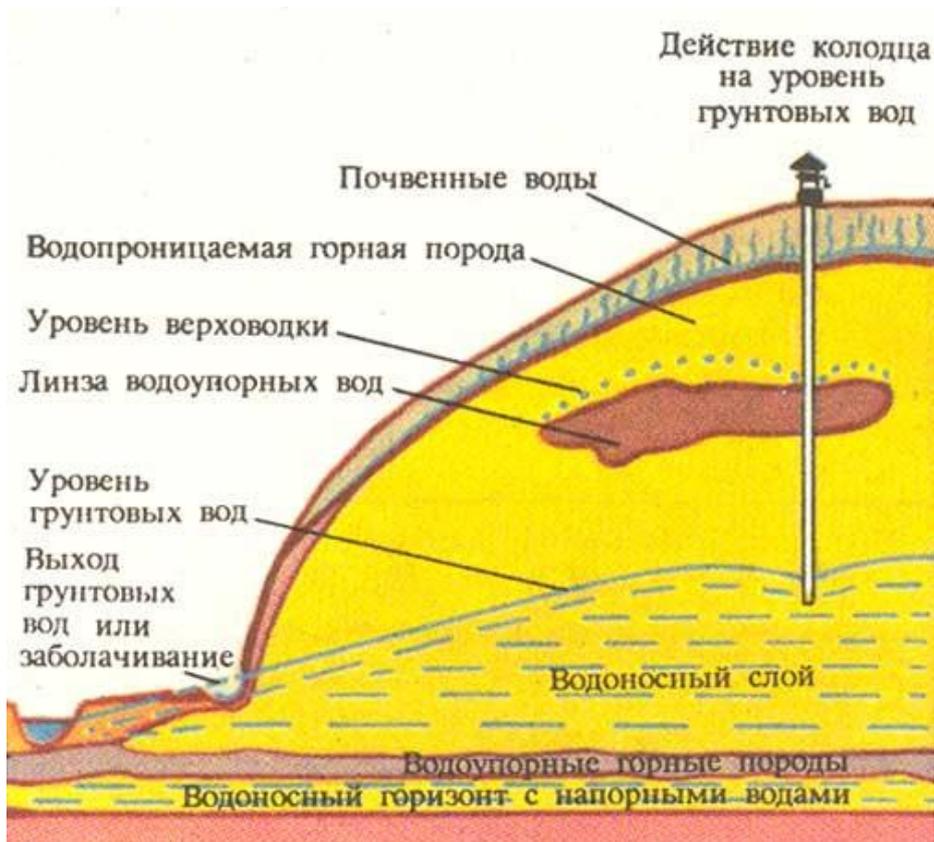
Для формирования месторождений в карстовых и линейных корях выветривания благоприятно наличие крутопадающих разломов и контактов пород различного состава.

Тектонический режим. Формированию месторождений способствует режим длительных устойчивых поднятий в геотектонически стабильных блоках земной коры. Примеры - щиты древних платформ, срединные массивы и др; складчато-глыбовые структуры.

Объем эрозии сформировавшихся кор выветривания должен быть минимальным. Поэтому для сохранности образовавшихся месторождений необходимо наличие медленных отрицательных (т.е. - вниз) движений земной коры.

Геоморфологические и гидрогеологические условия. Наиболее благоприятным является мегарельеф складчато-глыбовых и глыбовых средних гор, низкого плоскогорья, высокохолмистых плато и цокольных равнин, поскольку он обеспечивает максимальную глубину проникновения грунтовых вод. Максимальная проработка грунтовыми водами горных пород отмечается в краевых частях пенепленов, приближенных к аккумулятивным равнинам. В макрорельефе им соответствуют придолинные участки плоских водоразделов. Наличие плоских водоразделов обуславливает сочетание минимальной эрозии элювия и максимальный его дренаж (нужен рисунок).

Схематически гидрогеологические условия при образовании кор выглядят следующим образом (рис). Выделяются три гидродинамические зоны - аэрации, полного насыщения с активным водообменом и полного насыщения с пассивным водообменом. Наибольшая эффективность процессов выветривания и рудообразования происходит в верхней зоне аэрации. Воды этой зоны в гумидном климате являются кислыми и обогащены кислородом. Вблизи уровня грунтовых вод они становятся нейтральными, ниже - щелочными и восстановительными. Таким образом, вблизи уровня грунтовых вод образуется геохимический барьер и могут возникать месторождения.

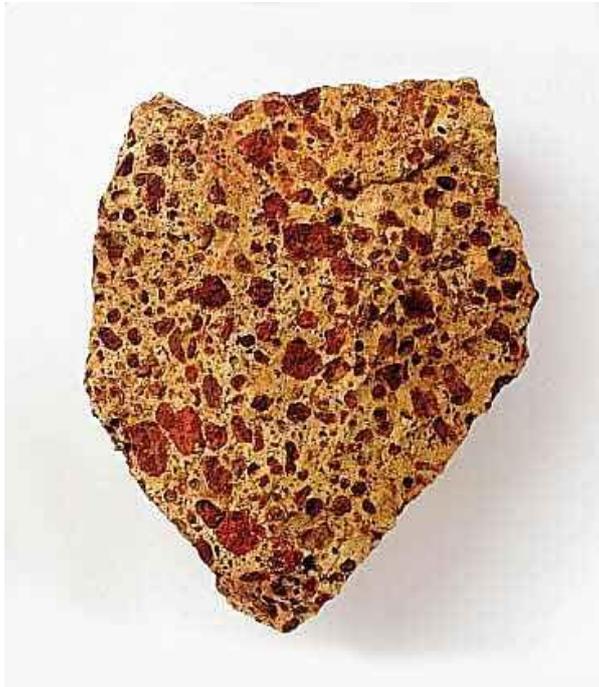


Подземные воды:

<http://www.ecosystema.ru/07referats/slovgeo/img/129.jpg>

Рудные формаций остаточного класса.

1) латеритных и карстовых бокситов;



Боксит

<http://www.dkimages.com/discover/DKIMAGES/Discover/Home/Science/Earth-Sciences/Geology/Minerals-and-Crystals/Classification/Hydroxides/Bauxite/Bauxite-1.html>

2) Fe-Co-Ni - формация в серпентинизированных гипербазитах;

3) редкометальных и редкоземельных выветрелых карбонатитов и щелочных гранитов;

4) золотоносных контактовых и карстовых кор выветривания;

5) каолиновая в выветрелых гранитоидах;



<http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Kaolinite.jpg>

- 6) мартитовая в выветрелых железистых кварцитах;
- 7) окисных марганцевых руд в выветрелых Mn-носных породах.



Манганитовая руда Mn

<http://www.dvminerals.com/img4/M-245.jpg>

КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Тела полезных ископаемых вблизи земной поверхности подвергаются химическому и физическому выветриванию, изменяющему их химический и минеральный состав и концентрацию в них ценных компонентов. Основным видом изменения является окисление, поэтому выветрелая часть месторождения именуется *зоной окисления*. Наибольшее изменение претерпевают тела сульфидных руд, а также некоторые пласты углей, залежи солей и серы.

Кора выветривания рудных полезных ископаемых

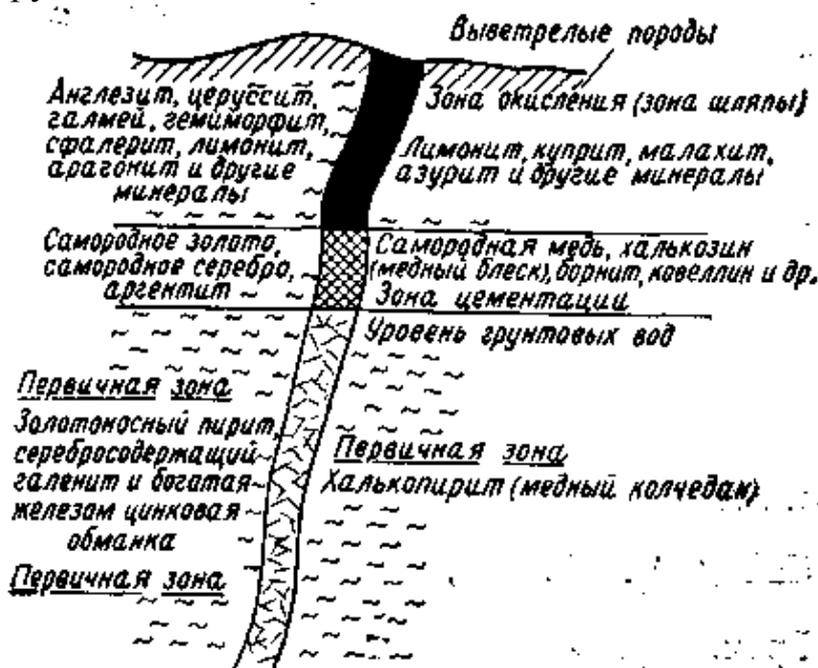


Схема зоны окисления рудных месторождений.

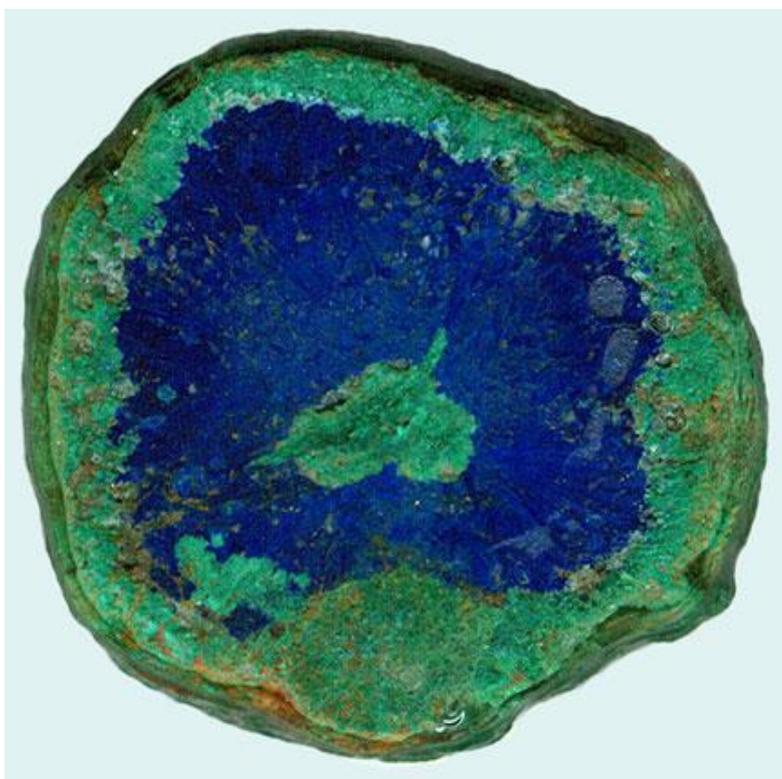
В зоне окисления сульфидных тел выделяют несколько подзон:

- 1) поверхностный слой;
- 2) зона окисления, подзоны:
 - а) окисленных руд;
 - б) окисленных выщелоченных руд;
 - в) богатых окисленных руд;
- 3) зона вторичного обогащения
- 4) зона неизменных руд.

Граница зоны окисления и зоны вторичного обогащения примерно совпадает с уровнем грунтовых вод.



Преобразование, например, сульфидных (колчеданных) руд приводит к возникновению в верхней части месторождения "железной шляпы", состоящей из оксидов и гидроксидов железа и алюминия. Ниже располагается зона выщелоченных руд, нередко сложенная рыхлым материалом (пиритные, кварцевые и баритовые сыпучки). Еще ниже, близ уровня грунтовых вод, следует зона вторичных сульфидных руд, обогащенная новообразованными сульфидами и др. минералами, переходящая на глубине в неизменные первичные руды. Накопление в зоне вторичного обогащения (зоне цементации) характерно для меди, урана, серебра и золота, реже - никеля.



Радиально-лучистая зональная конкреция смешанного азурит-малахитового состава, 2см., м-ние Джекказган, Ц. Казахстан.

Copyright © В.А. Слётов, 2005-2007.

<http://geo.web.ru/mindraw/cristall12.htm>



Крупное скопление малахита

The Alderley Edge mines in Cheshire, UK, were mined from the Bronze Age (c. 4000 years ago) until the early 20th century

Кора выветривания нерудных полезных ископаемых

По степени устойчивости в зоне выветривания нерудных месторождений выделяют три группы.

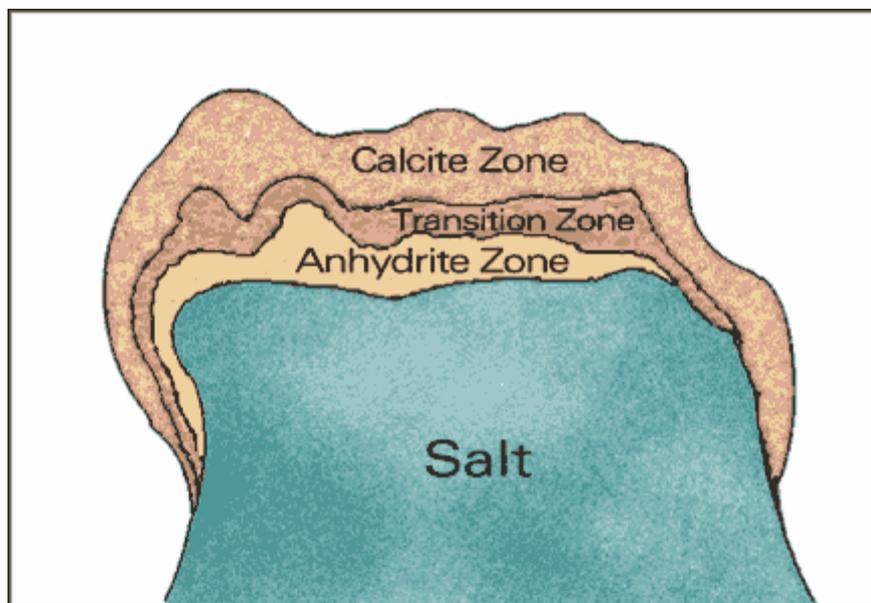
1. *Не изменяющиеся* полезные ископаемые. Породы, их заключающие, претерпевают приповерхностное изменение, но ценные минералы остаются неприкосновенными. Сюда относятся месторождения алмаза, драгоценных камней, горного хрусталя, алунита, диатомита, песков, гравия и др.

2. *Слабо изменяющиеся* полезные ископаемые. Происходит обогащение ценных компонентов глинистыми минералами, гидроксидами железа и марганца. Представлены месторождениями пегматитов, асбеста, глин, карбонатных и силикатных пород.

3. *Заметно изменяющиеся* в коре выветривания нерудные месторождения (угли, сера, соли). В углях в зоне окисления снижается содержание углерода, возрастает количество воды, летучих, золы. Падает теплотворная способность. При повышенном содержании сульфидов возможно самовозгорание угля.

Сера окисляется на поверхности с образованием квасцов, алунита, ярозита, гипса, слагающих специфическую "серную шляпу".

При растворении солей в верхней части залежи накапливаются глины и слаборастворимые минералы (ангидрит, гипс, карбонаты, бораты и др), слагающие так называемый "кэпрок" (каменную шляпу). Иногда при большом притоке воды возникает соляной карст.



Урок №10.

Тема: Формирование метаморфогенных месторождений полезных ископаемых

Метаморфизованные и метаморфические месторождения

К метаморфогенным относят месторождения, *сформировавшиеся* в результате проявления метаморфических процессов (метаморфические) или *измененные* под влиянием метаморфизма (метаморфизованные). В эту серию входят: месторождения железа (в железистых кварцитах), марганца (в гондитах), золота, урана, титана, меди и полиметаллов, алмаза, горного хрусталя, графита, граната, флогопита, нефрита, жадеита, лазурита, корунда, кианита, андалузита, силлиманита, родусит-асбеста, кварцитов, яшм, керамического сырья, кровельных сланцев, шунгитов, мрамора, и др.

Общие особенности месторождений серии

Характерными чертами метаморфогенных месторождений являются:

- 1) пространственная и временная связь оруденения с метаморфическими образованиями (главным образом – с архей-протерозойскими комплексами);
- 2) согласное залегание уплощенных (часто - пластообразных) рудных тел и метаморфических пород, часто образующих единые складчатые формы;
- 3) близкие (по температуре, давлению и др.) условия образования руд и вмещающих пород;
- 4) текстуры и структуры руд, свойственные метаморфическим породам (гнейсовая, сланцеватая, гранобластовая и др.).



Джеспилит. КМА, Курская обл., Россия

http://geo.web.ru/druza/m-hemat_0.htm

Тесная связь рассматриваемых месторождений с метаморфическими образованиями заключается в соответствии различных типов оруденения проявлениям ударного, контактового, динамического или регионального метаморфизма (таблица).

Таблица

Приуроченность месторождений полезных ископаемых к различным проявлениям метаморфизма

Метаморфизм	Месторождения
Региональный	Железистых кварцитов, гондитов, комплексные древних конгломератов, золото-кварцевые, медно-полиметаллические, алмаза в эклогитах, графита, граната, наждака, родусит-асбеста, кианита, силлиманита, андалузита, апатита, хрусталя, кварцитов, мраморов, керамических и слюдоносных пегматитов, яшм
Контактный	Графита, корунда (наждака)
Динамометаморфизм	Золота, нефрита, жадеита
Ударный	Алмаза

Таблица

Метаморфогенные месторождения в фациях регионального метаморфизма

Фации регионального метаморфизма	Главные минералы	Полезные ископаемые
Цеолитовая	Кварц, альбит, хлорит, пумпеллиит	Самородная медь (типа оз. Верхнего)
Зеленых сланцев	Кварц, альбит, биотит, мусковит, тремолит, хлорит, эпидот	Магнетит-гематитовые кварциты; золото и уран; сульфидные руды; наждак; графит; асбест; нефрит; горный хрусталь
Глаукофановая	Кварц, спессартин, родонит, бустамит, глаукофан, эгирин, жадеит, лавсонит, мусковит, эпидот, хлорит, кальцит	Силикатные марганцевые и цинковые руды; магнетит-амфиболовые руды.
Амфиболитовая	Кварц, кианит, ставролит, плагиоклаз, гранат, роговая обманка, диопсид, биотит, мусковит	Железные руды; сульфидные руды; кианит, диаспор, силлиманит, андалузит, корунд; флогопит; графит; ильменит; апатит; лазурит
	гиперстен,	
Гранулитовая	Кварц, плагиоклаз, К-полевошпат, роговая обманка, диопсид, гиперстен, гранаты, силлиманит, биотит, рутил	Амфибол-пироксен-магнетитовые кварциты; гранаты; рутил
Эклогитовая	Омфацит, гранат, кианит, энстатит, рутил	Рутил, алмаз

Наиболее распространены месторождения, связанные с региональным метаморфизмом. Это обусловлено проявлением регионального метаморфизма в пределах практически всей земной коры, за исключением верхних осадочных горизонтов. Метаморфизованные породы обычно имеют докембрийский возраст как образования, так и метаморфизма.

В комплексах регионально метаморфизованных пород выделяют ассоциации, отражающие различные термодинамические условия – фации (степени) метаморфизма.

Различные типы полезных ископаемых возникают в связи с определенными фациями (таблица).

На единство условий рудо- и породообразования метаморфогенных месторождений указывает форма рудных залежей. Так как кристаллизация полезных компонентов происходила при значительном направленном давлении, рудные тела имеют сплюснутую форму (уплощенно-линзовидные, пласто- и плитообразные, жильные). Типичны складчатые деформации рудных тел, слагающих единые ансамбли с вмещающими породами; также распространены жилы, возникающие в полостях отслоения и скалывания смятых пород. Такая форма рудных тел характерна для золото-кварцевых метаморфогенных месторождений. Согласно складчатое залегание наблюдается не только для отдельных рудных тел, но и для рудоносных зон и продуктивных пачек (т. е. – более протяженных и мощных структур); например, для железистых кварцитов, кианитовых сланцев, графитовых сланцев и др.

Явление метаморфизма происходит главным образом в третью, четвертую и пятую стадии цикла Уилсона. В третью и четвертую стадии метаморфизм сопровождается увеличением температуры и давления и называется *прогрессивным*, в пятую – их уменьшением (*регрессивный* метаморфизм или диафторез). При метаморфизме породообразующие и рудные минералы либо перекристаллизуются в более устойчивые при новых условиях полиморфные модификации, сохраняя исходный химический состав, либо меняют химический состав и образуют новые минералы и их ассоциации. Полиморфные превращения характерны для кварца, сфалерита, пирита, графита и др.

Повышенное давление и температура рудообразования, диффузно-метасоматические явления реализованы в соответствующих текстурах и структурах метаморфогенных руд. Для них характерны гнейсовая, сланцевая, плейчатая, полосчатая, очковая текстура и гранобластовая, порфиробластовая, лепидобластовая, нематобластовая и др. структура. Основным явлением при возникновении метаморфических текстур и структур является *перекристаллизация (бластез)* руды, что отражается в названии структуры.



Будинаж. Дайки пород основного состава испытали хрупкие деформации с обособлением блоковых будин, а мигматиты – пластические, с образованием межбудинных складок.

<http://geo.web.ru/geolab/travin/blmr/geol/boud.html>

Типы метаморфогенных месторождений

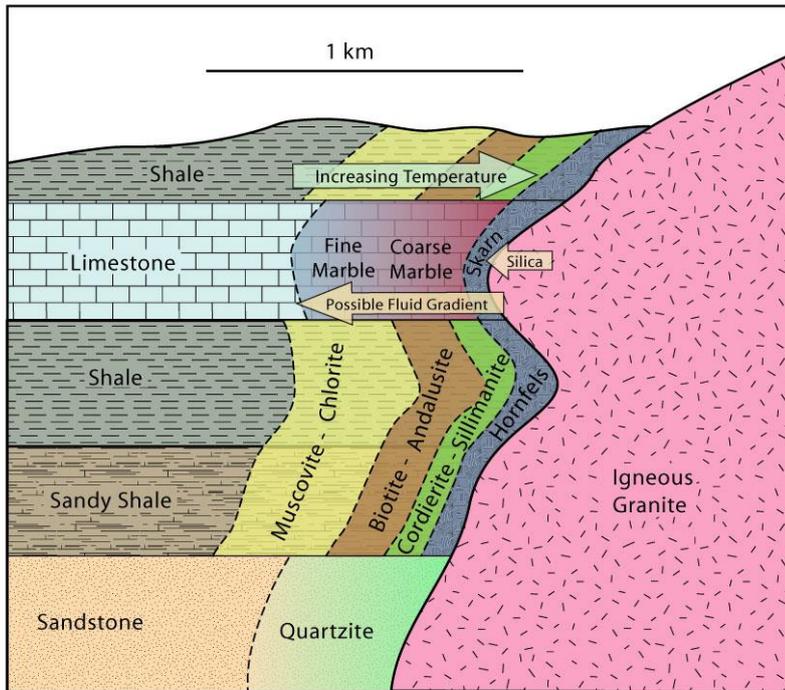
Существуют две основных классификации рассматриваемых месторождений: по типам метаморфизма, участвующим в рудообразовании, и по особенностям рудогенеза. При первом подходе выделяют месторождения, связанные с региональным, контактовым, ударным и динамометаморфизмом (таблица). При втором – три типа:

- 1) месторождения, образование которых обусловлено исключительно процессами метаморфизма, т. е. *метаморфические*;
- 2) *метаморфизованные*, полезные ископаемые которых существовали до метаморфизма и были лишь преобразованы им;
- 3) *метаморфогенно-гидротермальные*, возникшие за счет гидротермальных растворов, возникших при метаморфизме больших объемов пород.

Месторождения, связанные с *регионально-метаморфическими* образованиями, отличаются большим разнообразием. Ведущими особенностями их размещения являются:

- 1) приуроченность к породам определенных фаций метаморфизма;
- 2) размещение рудных узлов и полей в структурах гранито-гнейсовых куполов, ядер гранитизации и зеленокаменных поясов;
- 3) локализация рудоносных зон в складчатых разломах, участках их перегибов и пересечений, на контактах пород с различными физико-механическими свойствами (хрупких пород в пластичных толщах);
- 4) отсутствие четких окологрудных ореолов метасоматитов.

Месторождения, связанные с *контактовым метаморфизмом*, близки к скарновым образованиям. Классическим примером служит Курейское графитовое месторождение, возникшее при метаморфизме угольного пласта траппами.



contact aureole around an igneous pluton from Winter (2010)

<http://lifeinplanelight.wordpress.com/>

Динамометаморфизм. При возникновении условий сильного *направленного* сжатия пород на фоне их регионального метаморфизма возникают месторождения нефрита, жадеита и технических алмазов (неметаллическое сырье).

Динамометаморфизм сам по себе, очевидно, не приводит к возникновению металлических (рудных) полезных ископаемых. Однако благодаря деформации и разрушению пород возникают зоны проницаемости, способные служить рудоподводящими и рудовмещающими структурами. Для возникших таким образом месторождений характерны:

- 1) размещение рудных полей и месторождений в крупных зонах смятия и надвигов, протягивающихся на десятки километров;
- 2) локализация рудоносных зон в наиболее интенсивно деформированных участках разломов;
- 3) присутствие в рудных районах мощных сложносмятых осадочных толщ и черносланцевых углеродистых формаций;
- 4) сложная жилло- и линзообразная форма рудных тел.

Импактные метаморфические месторождения распространены незначительно. Сюда относят скопления тектитов – полудрагоценных и поделочных камней, возникающих при застывании расплава, разбрызгивающегося при ударе массивного метеорита в Землю. В крупных астроблемах встречаются скопления технических алмазов (Попигайская астроблема). Промышленное значение импактных полезных ископаемых невелико, но возникающие при ударе структуры могут являться рудовмещающими для месторождений других типов (Садбери, Канада).

Урок №11.

Тема: 2 Раздел Месторождения металлических полезных ископаемых

В настоящее время добывается более 70 промышленно извлекаемых металлов. Промышленная классификация металлов разнообразна и разнообразна, но может основываться на множестве принципов (иногда даже в одной и той же классификации) - области применения и отрасли, физические и химические свойства, степень распределения отложений и т. Д. в большинстве случаев, потому что это оправдано. В зависимости от свойств, определяющих области их использования в металлах, металлы делятся на следующие виды:

- 1) черный металл- железо, марганец, хром, титан, ванадий, никель, кобальт, вольфрам, молибден;
- 2) цветные - алюминий, медь, цинк, свинец, олово, тушь, висмут, ртуть;
- 3) драгоценные - золото, серебро, платина группы (платина, палладий, иридий, родий, рутений, осмий);
- 4) радиоактивные - уран, радий, торий;
- 5) редкие и рассеянные - литий, бериллий, рубидий, цезий, гафний, скандий, галлий, рений, кадмий, индий, таллий, германий, селен, теллур, тантал, ниобий, цирконий;
- 6) редкие- лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, иттрий, европейский, гадолиний, тербий, диспрозий, голмий, эрбий, торий, иттербий, лютений.

Черная и цветная металлургия является одним из ведущих секторов экономики по добыче и переработке металлических руд.

Черная металлургия, помимо добычи и переработки черных металлов - железа, марганца, хромовой руды - является дополнительным сырьем, необходимым для металлургической переработки руд - магнезит, тугоплавкая глина и др. производит. Некоторые шахты производят сопутствующее неметаллическое сырье для использования в других отраслях промышленности.

В цветной металлургии, а также в рудах цветных металлов добываются редкоземельные, рассеянные и редкоземельные металлы. Цветная металлургия также производит легирующие металлы, которые необходимы для выплавки специальных видов стали и сплавов. Радиоактивные металлы, которые входят в группу минералов металла, в основном используются в качестве высококалорийного топлива в энергетике.

Металлические месторождения полезных ископаемых происходят из ассоциаций химических элементов и минералов. Их пространственно-морфологические особенности определяются количеством магматических, литолого-стратиграфических и структурных факторов, связанных с кинетическими процессами. При классификации

промышленных типов месторождений полезных ископаемых используется их уникальная генетическая классификация.

Важнейшими критериями, определяющими условия промышленного освоения месторождений полезных ископаемых, являются:

1). Рудный состав характеризуется составом и соотношением химических элементов и минеральных компонентов, их структурой и структурой, а также изменчивостью этих показателей в рудных телах. Металлические руды имеют мономерный состав (железо, хром, золото и т. Д.) - они производят только один металл, биметаллический (свинец-цинк, медь-молибден, сурьма-ртуть и т. Д.). металл имеет промышленную концентрацию и является полиметаллическим (полиметаллический, покрытый медью, медно-никелевый и т. д.) - разделен на виды сырья, которые могут быть получены из нескольких металлов;

2) пространственно-морфологические параметры рудных тел - форма, размеры пластов, их расположение в пространстве и условия между ними и несущими породами;

3) размер месторождений, то есть количество неблагородных металлов и связанных с ними компонентов, напрямую определяет экономические показатели их промышленного освоения.

Урок №12.

Тема: Железо, марганец, хром

Железо

Среднее содержание железа в земной коре 4,2%. Железо образует свыше 450 минералов, но промышленное значение имеют многие оксиды:

Гематит - Fe_2O_3

Магнетит - Fe_3O_4

Магномагнетит - $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{Fe}_2\text{O}_4$

Ильменит - FeTiO_3

Гидроксиды:

Гетит - HFeO_2

Гидрогетит - $\text{HFeO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Гидрогеманит - $\text{FeO}_3 \cdot a\text{H}_2\text{O}$

Карбонаты: сидерит - FeCO_3

Силикаты: шамозит и тюрингит.

Содержание железа в промышленных рудах различных минеральных типов изменяется от 15 до 70%. В магнетит-гематитовых рудах железа (в %) 50-65, в титаномагнетитовых 15-55, гидрогетитовых 35-45, в сидеритовых 30-35, в силикатных 20-40. Руды, содержащие более 45% железа, считаются богатыми, менее 45% - бедными. Бедные руды перед металлургической переработкой обогащаются. Вредные примеси в железных рудах – фосфор, сера, мышьяк а также олово, свинец, цинк, медь. Полезные примеси – легирующие металлы: никель, кобальт, марганец, титан, хром и ванадий. Железные руды основа черной металлургии. Главные продукты металлургического

производства – чугун, сталь и железо – отличаются друг от друга содержанием углерода и различными технологическими свойствами.

Генетические типы промышленных месторождений.

Железорудные месторождения встречаются практически во всех генетических группах. Главный промышленный тип – метаморфогенные месторождения. Второе место занимают скарновые месторождения, третье – осадочные. Остальные генетические типы месторождений играют подчиненную роль в общей добыче железных руд.

Собственно магматические месторождения встречаются среди основных и ультраосновных изверженных пород (габбро-пироксенитов, габбро-амфиболитов и др.). Рудные тела представлены обычно крупными гнездами, линзо- и жиллообразными залежами титаномагнетитовых руд и титаномагнетит-ильменитовых руд. (Качканар)

Скарновые месторождения возникают на контакте карбонатных пород с гранитоидами, порфиритами и другими породами. Рудные тела скарновых месторождений представлены пластообразными залежами, линзами, гнездами и штоками сплошных и вкрапленных магнетитовых руд. Наиболее значительные месторождения приурочены к так называемым трубкам взрыва, выполненным брекчированными туфогенными породами. Руды сложены магнетитом, частично гематитом. Соколовско-сарбайское

Гидротермальные месторождения железа относятся к среднетемпературным образованиям умеренных глубин. Залегают они в известково-даломитовых отложениях и представлены жилами и пластообразными телами замещения. Руды сложены сидеритом. На месторождениях развита зона окисления, представлена бурыми железняками. (Коршуновское)

Осадочные месторождения железных руд широко распространены и имеют большое экономическое значение. Выделяются осадочные морские и континентальные месторождения. Ряд исследователей выделяют также группу вулканогенно-осадочных месторождений. (Керченское)

Месторождения коры выветривания возникают при латеритном выветривании основных и ультраосновных пород (осадочные) и в результате выщелачивания железа грунтовыми водами из вмещающих пород, переноса его и переотложения в зоне восстановления (инфильтрационные). (Аккермановское)

Метаморфогенные месторождения представлены залежами железистых кварцитов и богатых магнетитовых руд, образовавшихся в коре выветривания железистых кварцитов. Месторождения залегают в метаморфизованных морских осадочных толщах докембрийских геосинклиналей, составляющие кристаллические щиты и складчатый фундамент древних платформ (КМА.)

Марганец

Кларк марганца 0,1%. Промышленными являются оксиды и гидроксиды: пиролюзит MnO_2 , бранит- Mn_2O_3 , гаусманит- Mn_3O_4 , манганит- $MnO_2 \cdot Mn(OH)_2$, вернадит- $MnO_2 \cdot nH_2O$, псиломелан- $mMnO_2 \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$; карбонаты; родохрозит- $MnCO_3$, манганокальцит- $(Mn, Ca) CO_3$. в промышленных рудах Mn 35-40%. В металлургических рудах должно быть Mn не менее 40%, P не более 0,2%. SiO_2 не выше 15%. В легкообогатимых рудах содержание марганца может быть ниже- до 12-25%. Полезные примеси в рудах - легирующие металлы, присутствующие обычно в незначительных

количествах. В общей добыче марганцевых руд на долю металлургических приходится более 90%. В черной металлургии исп. В виде ферромарганца и добавляют при выплавке специальных сортов сталей. Марганцовистые стали применяются для производства высокопрочного оборудования: вагонных колес, гусеничных передач, дробилок и др. В цветной металлургии на основе марганца получают ценные сплавы - бронзы, латуни, характеризующиеся повышенными антикоррозионными и механическими свойствами. Марганец используется в производстве стекла, керамики, минеральных красителей, двуоксида марганца и других химических продуктов.

Месторождения марганца встречаются практически во всех генетических типах: осадочном, скарновом, коры выветривания, гидротермальном, метаморфогенном. Промышленное значение в СССР имеют в основном осадочные месторождения *Осадочные месторождения* марганцевых руд образуются в мелководных зонах морских бассейнов вблизи береговой линии образуются пирролюзит-псиломелановые богатые руды, представленные соединениями четырехвалентного марганца Форма р.т . пластообразная В СССР к ней относятся пластовые месторождения олигоценного возраста: Никопольское и Болыпе-Токмакское

на Украине, Чиатурское в Грузии, Мангышлакское в Казахстане и др.

Месторождения выветривания по условиям образования подразделяются на остаточные (марганцевые шляпы) и инфильтрационные. Марганцевые шляпы сложены в основном гидроксидами марганца — псиломеланом и вернадитом, образовавшимися в результате разложения карбонатов и силикатов марганца в зоне окисления осадочных, метаморфогенных и других месторождений Форма р.т . пластообразная Месторождения выветривания широко распространены в Индии, Африке (Габон, Гана, ЮАР, Марокко), Бразилии и др.

Гидротермальные месторождения средне- и низкотемпературные, жильные и пластообразные, пространственно и генетически связаны с гранитоидами и эффузивами. Руды сложены кварцем, баритом и крупнокристаллическими выделениями пирролюзита, браунита, гаусманита, родохрозита. Гидротермальные месторождения марганца известны в Грузии (Цедисское, Кодманское и др.), на Урале (Тагило-Кушвинский район), за рубежом — в США, Турции, Болгарии, Мексике, на Кубе и др.

Метаморфогенные месторождения возникают в результате воздействия регионального и контактового метаморфизма на первично осадочные и вулканогенно-осадочные месторождения марганца метаморфизм приводит в дальнейшем к возникновению силикатов марганца — родонита, бустамита, марганцовистых гранатов, оливина, эпидота и др. Джездинское в Казахстане

КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ. Хром был открыт в 1797 г. французским химиком Л. Вокленом в минерале крокоите – $Pb(CrO_4)$. В России руды хрома впервые выявлены на Урале в 1799 г. В начале XIX в. они использовались только в качестве огнеупорного материала для футеровки металлургических печей, получения красок и дубителей кож.

ГЕОХИМИЯ. Кларк хрома в земной коре $8,3 \cdot 10^{-3}$ %. Среднее содержание его в различных изверженных породах колеблется от 0,2 % в ультраосновных (перидотитах) до 0,02 % в основных (базальтах), составляя в гранитах тысячные доли процента. Хром является типичным литофильным элементом.

Хром вместе с железом, титаном, никелем, ванадием и марганцем входит в одно геохимическое семейство. В природе известны четыре изотопа: ^{50}Cr , ^{52}Cr , ^{53}Cr и ^{54}Cr , из

которых наиболее распространен ^{52}Cr . Хром обладает двумя валентностями – Cr^{3+} и Cr^{6+} . Соединения трехвалентного хрома наиболее устойчивы и широко распространены. Трехвалентный атом хрома, с одной стороны, образует оксиды, а с другой – в связи со сходством его ионов с ионами Al , Mg , Fe^{2+} и Fe^{3+} , формирует комплексные соединения этих металлов, обособляющиеся на высокотемпературной магматической ступени эндогенного процесса при дифференциации базальтовой магмы. В экзогенных условиях хром, как и железо, мигрирует в виде взвесей. Наиболее подвижной формой в природе являются хроматы.

МИНЕРАЛОГИЯ. Известно около 25 минералов, содержащих хром. Промышленными являются хромшпинелиды («хромиты»), имеющие общую формулу $(\text{Mg,Fe})\text{O} \cdot (\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_3$. Состав хромитов изменчив (%): Cr_2O_3 18–65; MgO до 16; FeO до 18; Fe_2O_3 до 30; Al_2O_3 до 33. Присутствуют также оксиды Ti , Mn , V , Ni , Co и др. Основное промышленное значение имеют *магнохромит* $(\text{Mg,Fe})\text{Cr}_2\text{O}_4$ (содержание Cr_2O_3 50–65 %), *хромпикотит* $(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$ (Cr_2O_3 35–55 %) и *алюмохромит* $(\text{Fe,Mg})(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$ (Cr_2O_3 35–50 %). Кроме того, хром входит в состав ряда других минералов – хромовой слюды (фуксита), хромвезувиана, хромдиопсида, хромового граната (уваровита), хромтурмалина, хромового хлорита и др. Эти минералы часто сопровождают руды, но не имеют самостоятельного промышленного значения.

ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Главное применение хромиты находят в металлургии (65 % мировой добычи), огнеупорной (18 %) и химической (17 %) промышленности. Добавка феррохрома (65–70 % Cr , 5–7 % C , остальное Fe) или чарж-хрома (54 % Cr , 6–7 % C , остальное Fe) к сталям повышает их вязкость, твердость и антикоррозионные свойства.

Требования различных отраслей промышленности к качеству руд различны. Самые строгие требования предъявляет металлургическая промышленность, для которой пригодны лишь руды с содержанием не менее 37–40 % Cr_2O_4 при соотношении $\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{FeO} > 2,5$. Наиболее ценными являются магнохромитовые руды (отношение $\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{FeO} = 3–4$ и более), в то время как даже массивные и богатые хромпикотитовые и особенно алюмохромитовые руды являются менее ценными в связи с повышенным содержанием в них железа ($\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{FeO} = 1,8–2$). Огнеупорная и химическая промышленность используют более низкокачественные руды (содержание Cr_2O_3 – 32–35%), в которых отношение $\text{Cr}_2\text{O}_3:\text{FeO}$ может быть ниже 2.

РЕСУРСЫ И ЗАПАСЫ. Ресурсы хромитовых руд выявлены в 36 странах и составляют 15,5 млрд т. Основная часть их сосредоточена в ЮАР (78 %). Доля ресурсов России составляет 2 %.

Подтвержденные запасы хромитовых руд разведаны в 29 странах и составляют 3,9 млрд т. Они распределяются следующим образом: ЮАР 80,5 %, Казахстан 8,3 %, Зимбабве 3,4 %, Россия 0,13 %. В мире разведано около 300 месторождений хромитовых руд. На стратиформные месторождения приходится 87,5 % подтвержденных запасов. Большая часть их приурочена к глубоким горизонтам месторождений. Запасы хромитов преимущественно для подземной добычи разведаны на месторождениях ЮАР, Зимбабве, Турции, России и Казахстана, а для открытой добычи – на месторождениях Финляндии, Бразилии, Индии, Ирака, Пакистана, Филиппин, США и других стран.

К уникальным относятся месторождения хромитовых руд с запасами в сотни миллионов тонн, к крупным – десятки миллионов тонн, к мелким – единицы миллионов тонн.

ДОБЫЧА И ПРОИЗВОДСТВО. В настоящее время почти 90 % производства товарной хромитовой руды сосредоточено в шести странах: ЮАР – 44,8 %, Индии – 12,2 %,

Казахстане – 9,8 %, Турции – 9,4 %, Зимбабве – 6,2 %, Финляндии – 5,2 %. Доля России составляет около 1 %. Общемировое производство товарной хромитовой руды составляет около 11,2 млн т. Преимущественно подземным способом добыча хромитов осуществляется в ЮАР, Зимбабве, Турции, Албании, России и Казахстане. К крупнейшим горно-обогатительным предприятиям мощностью до 1 млн т и более относятся: Донской ГОК Казахстана, рудный комплекс Кампо-Формозу в штате Баия Бразилии, ГОК Кеми в Финляндии и рудники ЮАР – Винтервельд Крундал и Вондеркоп в Западном хромитовом поясе (район г. Рюстенбург).

Урок №13.

Тема: Титан, ванадий, вольфрам

Титан

Кларк титана 0,45%. Больше его содержится в мафитах (0,9%), щелочных породах, повышенным содержанием характеризуется глины и глинистые сланцы (45%). В условиях выветривания титан обычно инертен и накапливается вместе с алюминием.

Промышленные минералы титана – ильменит FeTiO_3 (Ti 31,6%), рутил и анатаз TiO_2 (Ti 60%), лейкоксен (смесь сфена, гидроксида титана и др. – продукт изменения ильменита, титаномагнетита). На экспериментальной установке в Хибинах получают соединения титана из сфена - $\text{CaTiO}(\text{SiO}_4)$. В небольшом количестве используется перовскит CaTiO_3 . При комплексной переработке можно получать титан из лопарита - $(\text{Na}, \text{Ce}, \text{Ca})(\text{Nb}, \text{Ti})\text{O}_3$ и других, титаносодержащих минералов. Минерал титана – титаномагнетит – существует только при высоких температурах, затем он распадается на магнетит и ильменит. Магнетит с тонкими вростками ильменита также называют титаномагнетитом.

Титановые руды употребляются для получения титана и его соединений. Температура плавления титана 1725°C ; он в два раза менее плотен, чем нержавеющая сталь, в то же время не уступает ей по прочности и превосходит по коррозиоустойчивости. В связи с этим его широко используют в самолетостроении, подводном флоте, при изготовлении химического оборудования и т.п. Титаном легируют некоторые виды стали, которым он придает коррозиоустойчивость, повышает прочность и улучшает ковкость. Титан используется в ряде сплавов с цветными металлами, ванадием, алюминием, хромом, марганцем и др. Карбид титана применяют для получения сверхтвердых сплавов, он повышает стойкость сплавов, что важно при больших скоростях резания. В больших количествах используется двуоксид титана для производства белого пигмента, в том числе титановых белил. Титановые пигменты устойчивее цинковых. Для получения титановых пигментов используют низкохромистые ильмениты и рутил.

Соединения титана применяют также в производстве дымовых завес, катализаторов.

Генетические типы промышленных месторождений.

Среди месторождений титана выделяют следующие типы: 1) магматические в основных, реже в щелочных породах; 2) остаточные в корках выветривания; 3) россыпные; 4) осадочные; 5) вулканогенно-осадочные; 6) метофорфогенные.

Среди *магматических* месторождений можно выделить ряд формации, в том числе: а – ильменитовую, гематит-ильменитовую, реже рутил-ильменитовую в анортозитовых, габбро-анортозитовых массивах; б – магнетит-ильменитовую, титаномагнетитовую в габбровых, габбро-норитовых, габбро-амфиболитовых и габбро-дунит-пероксенит-перидотитовых массивах; в – пероксит-титаномагнетитовую в комплексах ультраосновных – щелочных пород; г – лопаритовую, ильменит-перовскит-сфеновую в щелочных породах.

Вольфрам

Кларк вольфрама 0,007%. Промышленное значение имеют следующие минералы вольфрама: вольфрамит – $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{WO}_4$ (WO_3 76,5%), ферберит – FeWO_4 (WO_3 76,3%), гюбнерит – MnWO_4 (WO_3 76,6%), шеелит – CaWO_4 (WO_3 80,6%). За счет окисления вольфрамита и шеелита в зоне выветривания могут образоваться землистые массы желто-бурого, желтовато-зеленого, светло-желтого цвета – минералы тунгстит H_2WO_4 и ферритунгстит $\text{Fe}(\text{OH})_4\text{WO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Главный потребитель вольфрама – металлургия. Добавка вольфрама в сталь (от 1 до 20%) резко повышает ее твердость, упругость, прочность, тугоплавкость и другие ценные качества. Значительное количество вольфрама потребляется в производстве специальных сталей, которые идут на изготовление режущих инструментов, рессор, пружин и др. В чистом виде вольфрам применяется главным образом в электроосветительной аппаратуре.

Генетические типы промышленных месторождений.

Главный промышленные типы месторождений вольфрама – скарновые и гидротермальные месторождения. Значение россыпных месторождений относительно невелико.

Скарновые месторождения залегают среди гранат-пироксеновых и кварц-гранатовых скарнов и связаны с гипабиссальными гранитоидными интрузиями, контактирующими с известняками, сланцами, мраморами и другими породами. Оруденение может развиваться и внутри осадочной толщи в зонах разрывных нарушений, дробления и трещиноватости горных пород при отсутствии интрузивных массивов.

Рудные минералы в скарновых пласто- и линзообразных залежах представлены шеелитом, реже вольфрамитом, молибденитом, касситеритом, сульфидами железа, меди, цинка.

Гидротермальные месторождения подразделяются на формации: высокотемпературные кварц-вольфрамитовые и кварц-касситерит-вольфрамитовые, среднетемпературные кварц-сульфидно-гюбнеритовые и низкотемпературные киноварь-антимонит-ферберитовые месторождения. Высокотемпературные месторождения связаны с грейзенизированными лейкократовыми гранитами. Минеральный состав руд: кварц, вольфрамит, касситерит, молибденит, шеелит, висмутин, топаз, турмалин и др.

Среднетемпературные месторождения образуют общие рудные поля с высокотемпературными месторождениями или встречаются самостоятельно. Характерная черта месторождений – приуроченность рудных жил к глубоким сколовым трещинам. Жилы в основном кварцевые, а также карбонатные. Минеральный состав руд: кварц, флюорит, гюбнерит, сульфиды меди, свинца и цинка.

Низкотемпературные месторождения встречаются обычно редко. Рудные жилы приурочены к зонам брекчирования и трещиноватости.

Россыпные месторождения вольфрама не более 2% общей его добычи. Промышленное значение имеют некоторые россыпи касситерит-вольфрамитовые и вольфрамитовые; шеелитовые и гюбнеритовые россыпи редки. Большим распространением пользуются элювиальные россыпи, но отрабатываются они мало из-за незначительных масштабов. Элювиальные пески с обломками вольфрамовой руды (кварца с вольфрамитом, касситеритом и шеелитом) залегают над выходами кварцевых жил.

КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ. Ванадий был открыт в 1801 г. мексиканским минералогом Дель Рио. Впервые он получил промышленное применение в 1905 г. в черной металлургии. В XX в. его стали широко применять для легирования чугуна и стали.

ГЕОХИМИЯ. Кларк ванадия в земной коре 0,009 %. Повышенные содержания ванадия (0,02 %) отмечаются в основных породах – габ-бро и базальтах. В природе известно два стабильных изотопа ванадия: ^{50}V и ^{51}V . Наиболее широко распространен изотоп ^{51}V . В магматических образованиях встречаются соединения только трехвалентного ванадия. Близость ионных радиусов V^{3+} и широко распространенных в магматических породах Fe^{3+} и Ti^{4+} приводит к тому, что ванадий в гипогенных процессах целиком находится в рассеянном состоянии и не образует собственных минералов. Поэтому концентраторами его являются минералы, содержащие Fe и Ti, – титаномагнетит, рутил, сфен, ильменит, пироксены, амфиболт. В гидротермальных образованиях наблюдаются минералы трех-, четырех- и пятивалентного ванадия. Он склонен к образованию комплексных соединений с галоидами (Cl, F), что способствует переносу ванадия гидротермальными растворами.

По-иному ведет себя ванадий в экзогенном процессе. Он легко переносится в растворах и адсорбируется различными природными продуктами. Среднее содержание ванадия в речных водах $1 \cdot 10^{-7}$ %, а в морской воде – 0,001–0,003 мг/л. Речными и морскими водами ванадий переносится в виде взвесей и истинных растворов (VCl_3 , VCl_4 , VOCl , VOCl_2), а также адсорбируется гидроксидами железа, алюминия и органическим

веществом (ОВ). В зоне гипергенеза растворы, обогащенные ванадием, легко вступают в химические соединения с рядом компонентов и образуют ванадаты – соли ортованадиевой кислоты H_3VO_4 .

МЕНЕРАЛОГИЯ. В природных условиях известно около 70 минералов, содержащих ванадий. Больше половины из них ванадаты, остальные относятся к оксидам, сульфидам и силикатам. Только некоторые из них образуют промышленные концентрации: роскоэлит, карнотит, патронит, ванадинит, деклуазит.

Роскоэлит $KV_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$ (содержание V_2O_5 19–29 %). Минерал назван по фамилии минералога Г. Э. Роско. *Карнотит* $K_2U_2[VO_4]_2O_4 \cdot 3H_2O$ (содержание V_2O_5 20 %) (по фамилии французского горного инженера Карно), кристаллизуется в моноклиальной сингонии, ярко-желтого цвета, твердость 2–2,5, удельная масса 4,5 г/см³. *Патронит* VS_4 (содержание V_2O_5 29 %); *ванадинит* $Pb_5(VO_4)_3Cl$ (содержание V_2O_5 19 %) кристаллизуется в гексагональной сингонии, кристаллы коротко- и длиннопризматические до игольчатых и волосовидных, цвет оранжево-красный и бурый, твердость 2,5–3, удельная масса 7,1 г/см³; *деклуазит* $(Zn,Cu) Pb[VO_4]OH$ (содержание V_2O_5 20–23 %), (по фамилии Деклазо), кристаллизуется в ромбической сингонии, габитус кристаллов изменчивый: дипирамидальный, призматический, реже таблитчатый или короткопризматический, цвет вишнево-красный, бурый до черного, блеск жирный, твердость 3–3,5, удельная масса 6,2 г/см³.

Ванадий в основном (70 %) извлекают титаномагнетитовых руд – титаномагнетита и магнетита. В *титаномагнетите* за счет присутствия мелких включений кульсонита $FeO \cdot V_2O_5$ содержание ванадия может достигать нескольких процентов. Повышенные концентрации ванадия (до 1–2 % V_2O_5) часто наблюдаются в эгирине, сфене, гранате, амфиболах и некоторых других минералах. Кроме того, источником ванадия могут служить: осадочные железные руды, зола некоторых углей и горючих сланцев.

ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Основной областью применения ванадия является черная металлургия (около 90 %), где он используется для легирования чугуна и стали. Небольшое количество ванадия, добавленное к любой стали, способствует удалению кислорода и азота, резко повышает ее твердость, упругость и сопротивление разрыву, уменьшает истирание стенок двигателей внутреннего сгорания. Для легирования конструкционных сталей обычно на 1 т стали идет 1–10 кг ванадия. Ванадий применяется для производства сплавов с железом, кремнем, титаном, кобальтом, алюминием. Титано-ванадиевые сплавы используются для изготовления деталей сверхзвуковых самолетов, космических кораблей, ракет-носителей и т. д.

В химической промышленности ванадий применяется при производстве анилиновых красок и катализаторов, используемых при производстве серной кислоты и синтетического каучука. В небольших количествах он находит применение в керамической промышленности (для окрашивания керамических изделий), для изготовления цветных кино- и фотопленок, при производстве литографских красок.

В настоящее время основные объемы ванадия извлекают попутно при переработке руд железа, титана, урана, свинца, цинка и фосфатов. В СНГ главным сырьем для получения ванадия являются титаномагнетитовые руды. После доменной плавки этих руд почти весь ванадий переходит в чугун. Затем в процессе передела чугуна на сталь остаются шлаки, содержащие до 25 % V_2O_5 . Они подвергаются обжигу с сильвинитом или содой (Na_2CO_3) и последующему выщелачиванию с выделением технического пентоксида ванадия.

РЕСУРСЫ И ЗАПАСЫ. Новых статистических данных о мировых ресурсах и запасах ванадия в мире в опубликованных российских источниках не имеется. Общие запасы

ванадия (в пересчете на V_2O_5) в конце 1980-х годов в капиталистических и развивающихся странах составляет 6,7 млн т, 85 % которых были сосредоточены в ЮАР и Австралии, остальные – в Индии, США, Финляндии, Норвегии и Намибии.

По запасам пектоксида ванадия выделяют следующие группы месторождений: 1) уникальные с запасами в миллионы тонн; 2) крупные – сотни–десятки тысяч тонн; 3) мелкие – единицы тысяч тонн.

ДОБЫЧА И ПРОИЗВОДСТВО. Добыча руд и производство ванадийсодержащих концентратов осуществляется в ЮАР, США, Финляндии, Норвегии, России, Намибии и в некоторых других странах. Минимальное содержание V_2O_5 в титаномагнетитовом концентрате 0,3 %; вредные примеси – CaO и P. Производство ванадиевых концентратов (в пересчете на V_2O_5) в 1985–1990 гг. составляло около 35–40 тыс. т. Основной страной-производителем этого вида продукции является ЮАР (около 70 % от мирового производства).

Урок №14.

Тема: Кобальт, никель, молибден

Никель

Кларк никеля 0,058%. Концентрирует никель главным образом в основных и ультраосновных породах, в которых присутствует в виде изоморфной примеси к силикатам (оливину) и рассеянных мелких выделений сульфидов. В гранитоидных магмах Никель вместе с кобальтом, мышьяком, серой, а иногда висмутом, серебром и ураном выносятся в гидротермальных растворах и образует жильные месторождения арсенидов и сульфидов никеля и кобальта. В поверхностных условиях никель переносится грунтовыми водами и выпадает в коре выветривания в виде водных силикатов никеля. Всего известно 45 минералов никеля. Главные из них: сульфиды – пентландит - $(Fe,Ni)_9S_8$ (Ni 42%), миллерит - NiS (Ni до 65%), арсениды – никелин - NiAs (Ni 44%);

водные силикаты – гарниерит - $Ni_4[SiO_{10}][OH]_4 \cdot 4H_2O$ (NiO 46%), ревдинскит - $(Ni,Mg)_6(Si_4O_{10})(OH)_8$ (NiO 51%) и нонтрониты.

Промышленные месторождения никеля представлены в основном сульфидными медно-никелевыми и оксидно-силикатными никелевыми рудами. Сульфидные руды кроме никеля и меди содержат кобальт, платиноиды, золото, серебро, теллур и селен; силикатные – обычно кобальт. Содержание никеля в сульфидных рудах должно составлять 1-2%, в оксидно-силикатных 1-1,5%; нижним пределом содержание никеля для комплексных сульфидных медно-никелевых руд считается 0,2%, для оксидно-силикатных 0,6%.

Никель имеет высокую химическую, термическую и механическую стойкость, что обуславливает широкое применение ее в металлургии для производства различных сверхтвердых сплавов (80% общего требования). Никель тверд, тугоплавок, но гибок, ковоч и тягуч, что позволяет

изготавливать из него проволоку, ленту, кованные детали. Неокисляемость на воздухе и способность никеля хорошо полироваться используется при никелировании металлических изделий. Сплав никеля с медью (так называемый монель-металл) – один из главных металлов химического машиностроения, судостроения. Сплав никеля и марганца (всем известный мельхиор) применяется для изготовления не только столовых приборов, но и как отличный материал конденсаторных трубок, клапанов, так как он наиболее стоек из всех известных сплавов к противоударной коррозии.

Генетические типы промышленных месторождений.

Месторождения никеля относятся к трем генетическим типам: магматическому, гидротермальному и выветривания.

Магматические (ликвационные) сульфидно-никелевые месторождения – основной промышленный тип месторождений никеля. Ценность месторождений определяется запасами комплектностью руд. Кроме никеля, кобальта и меди руды содержат платину, золото, серебро и теллур, в количествах, обеспечивающих их рентабельное попутное извлечение. Месторождения формируются и размещаются в пределах дифференцированных интрузивов основных и ультраосновных пород. Руды образовались в процессе ликвидации никеленосного магматического расплава. Залегание рудных тел в основном подчиняется условиям залегания рудоносных интрузивов. Форма тел пласто- и плитообразная, линзовидная. Минеральный состав руд выдержанный: пирротин, пентландит, халькопирит, магнетит и др.

Синклинальные никелевые месторождения выветривания связаны с тем или иным типом коры выветривания ультрамафитов и серпентинитов. По условиям образования и форме залегания различают три типа коры выветривания и никелевых месторождений: площадного, линейного и линейно-площадного типов. Никель концентрируется преимущественно в нонтронитах, керолите, в охристо-кремнистых образованиях и в выщелоченных серпентинитах.

КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ. Синие кобальтовые краски были известны и широко применялись в керамической и стекольной промышленности еще в глубокой древности, за 5000 лет до н. э. в Египте, Иране, Индии и других странах. Секрет их изготовления был утерян и лишь в XVI в. был найден вновь. История названия этого металла следующая. В средние века в Саксонии при добыче серебра иногда встречали руду очень похожую на серебряную, но получить из нее серебро никому не удавалось. Во время обжига из нее постоянно выделялся ядовитый газ, который отравлял рудокопов. Эту руду стали называть «кобальдом» по имени коварного горного духа (или подземного духа), якобы поселившимся в этом металле.

Сам металл кобальт, который так и не удалось получить саксонским рудокопам, впервые был выплавлен шведским химиком Г. Брандтом в 1735 г. Широкое использование его началось только в XX в. (после 1907 г., когда были впервые получены твердые сплавы – стеллиты).

Кобальт – тугоплавкий металл (температура плавления 1493° С), ковкий, тягучий, устойчив к коррозии. Он имеет очень высокую точку Кюри (1121° С), т. е. температуру, при достижении которой металл перестает быть магнитом.

ГЕОХИМИЯ. Кларк кобальта 0,003 %, коэффициент концентрации невысокий – 100. Содержание Co увеличивается от кислых ($5 \cdot 10^{-4}$ %) до ультраосновных магматических пород примерно в 100 раз, хотя отношение Co/Ni в этом направлении уменьшается. В осадочных породах концентрация кобальта низкая и только в глинистых отложениях приближается к кларку (0,003 %, или 30 г/т), а в осадках, содержащих гидрооксиды железа и марганца, в ряде случаев достигает 0,1–2,0 %. Кобальт представлен единственным стабильным изотопом ^{59}Co . В простых соединениях наиболее устойчив Co^{2+} , в комплексных – Co^{3+} . Кобальт по сравнению с никелем геохимически ближе к Fe^{2+} .

На магматическом этапе кобальт концентрируется совместно с никелем в тесной генетической связи с ультраосновными и основными магмами. В гидротермальном процессе он вместе с Fe^{2+} и Ni^{2+} выносится растворами в виде сульфидных, галоидных и мышьяковых комплексных соединений. В экзогенных условиях при высоком окислительном потенциале кобальт переходит в трехвалентное состояние и концентрируется совместно с марганцем в зонах окисления мышьяковых и сернистых соединений. В корях выветривания гипербазитовых массивов он аккумулируется в силикатных рудах никеля.

МИНЕРАЛОГИЯ. Основными минералами первичных кобальтовых руд являются: кобальтистый пентландит, линнеит, кобальтин, глаукодот, саффлорит, скуттерудит. *Кобальтистый пентландит* $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_9\text{S}_8$ (содержание Co до 3 %). Кобальт в пентландите изоморфно замещает никель и железо; минерал весьма характерен для сульфидных медно-никелевых руд ликвидационных месторождений. *Линнеит* Co_3S_4 (Co 57,96 %) (по фамилии шведского натуралиста Карла Линнея), кристаллизуется в кубической сингонии, габитус кристаллов октаэдрический, розовато-белый, твердость 5,5, удельная масса 4,85 г/см³. Основной минерал руд Заира и Замбии. *Кобальтин* CoAsS (Co 35–41 %), кристаллизуется в кубической сингонии, габитус кристаллов октаэдрический, кубический и додекаэдрический, цвет розовато-белый, блеск металлический, твердость 5,5, удельная масса 6,4 г/см³, характерен для руд гидротермальных месторождений. *Глаукодот* $(\text{Co}, \text{Fe})\text{AsS}$ (Co 23,85 %), кристаллизуется в ромбической сингонии, габитус кристаллов призматический, цвет зеленовато-синий, серовато-белый до красноватого, блеск металлический, твердость 5, удельная масса 6,2 г/см³. *Саффлорит* $(\text{Co}, \text{Fe})\text{As}_2$ (Co 28,23 %) кристаллизуется в моноклиальной сингонии, цвет оловянно-белый до свинцово-серого, блеск металлический, твердость 4,5–5, удельная масса 7,3 г/см³; распространен в гидротермальных месторождениях. *Скуттерудит* CoAs_3 (Co 16–20 %) (по названию месторождения Скуттеруд в Норвегии), кристаллизуется в кубической сингонии, габитус кристаллов кубический, октаэдрический, пентагондодекаэдрический, цвет белый, твердость 5,5–6, удельная масса 6,7 г/см³.

В зоне выветривания отмечаются скопления гидрооксидов кобальта экзогенного происхождения – *асболана* $m(\text{Co}, \text{Ni})\text{O}_2 \cdot \text{MnO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (Co до 19 %), а в зоне окисления эндогенных руд кобальта – *эритрина* $\text{Co}_3\text{As}_3\text{O}_8 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (Co 11–29 %).

ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Значительная часть кобальта (около 70 %) используется в производстве сплавов (с Ni, W, Mo и Cr), особенно магнитных, тугоплавких и специальных. В настоящее время эти сплавы применяются в производстве реактивных двигателей, ракет, газовых турбин и атомных реакторов.

Кобальт – составная часть многих жаростойких и инструментальных сталей, идущих для изготовления фрез, сверл и другого инструмента. Кобальт и его соединения используются в лакокрасочной, керамической и стекольной промышленности, а также в производстве эмалированных изделий.

Радиоактивные изотопы кобальта, в частности ^{60}Co широко применяется для выявления дефектов в металлических изделиях, в металлургии (для контроля и регулирования расплавов в печах), в геофизической аппаратуре (облучение горных пород в скважинах). В медицине ^{60}Co (кобальтовые пушки) используются для лечения злокачественных опухолей.

РЕСУРСЫ И ЗАПАСЫ. Мировые ресурсы кобальта оцениваются в 12,5 млн т. Большая их часть сосредоточена в латеритных никелевых (около 60 %) и стратиформных медно-кобальтовых (23 %) месторождениях.

Общие запасы кобальта в мире составляют 9,8 млн т, а подтвержденные – 4,8 млн т. Ведущее место по запасам кобальта занимает Африка: на нее приходится 38 % общих и около 50 % подтвержденных мировых запасов. Наиболее крупными держателями запасов кобальта являются Заир, Куба и Замбия (табл. 4).

Урок №15.

Тема: Медь, свинец, цинк

Медь

Кларк меди 0,01%. Известно более 240 минералов меди. Главные из них следующие:

Самородная медь, халькопирит – CuFeS_2 .

Борнит - Cu_5FeS_4 .

Ковеллин – CuS .

Халькозин - Cu_2S .

Теннантит - Cu_3AsS_3 .

Тетраэдрит - Cu_3SbS_3 .

Энаргит - Cu^xAsS_4 .

Куприт- Cu_2O .

Малахит - $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$.

Азурит - $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$.

Хризоколла - $\text{CuSiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Медные руды делятся на два промышленных природных типа: **сульфидные и окисленные** руды. Почти 90% меди выплавляются из сульфидных руд, остальная часть приходится на самородную медь, карбонаты и другие вторичные минералы. Попутно с медью из сульфидных руд извлекаются молибден, никель, цинк, свинец, рений, кадмий, индий, висмут, теллур и другие ценные вещества стоимость которых нередко превышает стоимость меди. Требования к медным рудам определяются типом руд и размерами месторождений. Монометалльные руды разрабатываются при минимальном содержании меди 1-2%. Комплексные руды крупных месторождений содержат 0,5% меди. По уровню производства и потребления медь среди других металлов занимает третье место (после железа и алюминия). Широкое применение ее основано на высокой электропроводности, теплопроводности, химической устойчивости, ковкости, тягучести. Более 50% меди потребляет электропромышленность – линии

электропередач, токопроводящие детали электроаппаратуры и др. Медь используется в химическом машиностроении при изготовлении вакуум-аппаратов, котлов, холодильников, змеевиков. Широко используются сплавы меди с цинком (латунь), с оловом (бронза). Коррозионноустойчивая латунь – томпак – содержит до 88% меди.

Генетические типы промышленных месторождений.

Промышленные месторождения меди относятся к следующим группам: магматическим, карбонатитовым, скарновым, гидротермальным, стратиформным. Основные промышленные типы – медистые песчаники, медноколчеданные и медно-порфировые месторождения, меньшее значение имеют медно-никелевые месторождения.

Магматические месторождения представлены сульфидными медно-никелевыми и ванадий-железо-медными рудами.

Карбонатные месторождения медная минерализация представлена прожилками и зонами вкрапленности в карбонатитах.

Скарновые месторождения залегают в экзоконтактах гранитоидных интрузий на границе их с известняками терригенными породами. Размеры рудных тел небольшие, форма сложная гнездовая и линзовидная. Рудные минералы представлены халькопиритом, пирротинном, магнетитом, породообразующие – гранатом, пироксеном, эпидотом, кальцитом, кварцем, и др. Содержание меди обычно высокое, распределение в рудах крайне неравномерное.

Гидротермальные месторождения представлены медно-порфировыми, кварц-сульфидными, самородной меди и колчеданными.

Медно-порфировые месторождения имеют исключительно важное значение в общей добыче меди. Рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом, борнитом, иногда молибденом.

Жильные кварц-сульфидные месторождения меди распространены довольно широко, но крупные промышленные месторождения встречаются редко.

Месторождения самородной меди встречаются редко и залегают в эффузивах и субвулканических телах.

Колчеданные месторождения – весьма важный промышленный тип. По минеральному и вещественному составу они подразделяются на медноколчеданные, Колчеданно-полиметаллические и серноколчеданные. В медноколчеданных месторождениях главные полезные компоненты – медь, цинк, сера (пирит).

Свинец и цинк

В природе обычно встречаются совместно, образуя месторождения свинцово-цинковых (полиметаллических) руд. Кларк свинца 0,0016%, цинка 0,01%. Главный минерал свинца – галенит – PbS , следует назвать также буланжерит – $Pb_5Sb_3S_3$, бурнонит – $CuPbSbS_3$ и джемсонит – $Pb_4FeSb_6S_{14}$. В зоне окисления распространены промышленные минералы: церуссит – $PbCO_3$, англезит – $PbSO_4$ и другие, вторичные соединения свинца. Основные минералы цинка: сфалерит – ZnS и вюртцит – ZnS ; в зоне окисления образуются смитсонит – $ZnCO_3$ и каламин – $Zn(Si_2O_7)(OH)_2 \cdot nH_2O$. Выделяют несколько типов свинцово-цинковых руд: свинцовые, цинковые, свинцово-цинковые и полиметаллические. Главное промышленное значение имеют последние два типа. Свинцово-цинковые руды в качестве основных полезных компонентов содержат свинец и цинк и в значительных количествах серебро.

Полиметаллические руды в промышленных концентрациях содержат свинец, цинк, медь, в качестве примесей – кадмий, германий, индий, галлий, иногда кобальт, никель, висмут, сурьму, мышьяк, селен, олово и другие ценные металлы.

Ценные качества свинца – мягкость, ковкость, антифрикционные свойства – обусловили его широкое применение в производстве аккумуляторов, труб для коррозирующих жидкостей, покрытий электролизных ванн, подшипниковых сплавов и др. Свинец используется в рентгентехнике и атомной промышленности. Цинк применяется в производстве сплавов: с оловом и медью, он входит в состав бронз, с никелем - в состав мельхира. Сплав цинка со свинцом, олово и Сурьмой называется баббитом и типографическим металлом. Сплавы используются в авиастроении, машиностроении, приборостроении. Мельхиор идет для изготовления художественных изделий, медицинских инструментов и др. Основным потребителем цинка в последнее время стала автомобильная промышленность. Цинк используется для оцинкования листового железа, труб, телеграфного провода, в производстве цинковых белил.

Урок №16.

Тема: Олово, висмут, мышьяк

Олово

Кларк олова 0,0006%. Оно относительно широко распространено в природе. Повышенные концентрации олова отмечаются в гранитах, особенно в так называемом оловоносных, где его содержание достигает иногда 20-30 г/т, встречается в пегматитах, грейзенах, терригенных песчано-сланцевых породах. Главный промышленный минерал олова касситерит – SnO_2 (Sn 78,6%). Реже встречается станин - $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$ (Sn 27,7%). В гипергенных условиях касситерит устойчив и накапливается в россыпях. Известна скрыто- и тонкокристаллическая разновидность касситерита, так называемое деревянистое олово, образующее желваковые и натечные скопления с радиальнолучистой структурой. Почти половина мирового производства олова идет на изготовление белой жести. В производстве белой жести используется наиболее чистое (пищевое) олово, без вредных примесей – мышьяка, сурьмы и свинца. Олово широко используется в металлургии для получения различных сплавов. Оловянные сплавы чаще всего применяются в качестве антифрикционных материалов или припоев. Руды олова для промышленной оценки коренных месторождений разделяются на богатые (олова более 1%), средние (0,4-1%) и бедные (0,2-0,4%).

Генетические типы промышленных месторождений.

Оловянные руды встречаются в пегматитах, скарнах, грейзенах, гидротермальных образованиях, а также в россыпях. Все коренные месторождения олова разделяются на три формации: пегматитовую, касситерит-кварцевую и касситерит-сульфидную.

Оловянные пегматиты формируются в эндо- и экзогенных зонах рудоносных гранитов, обычно на расстоянии 1,5-2км. Лучшие месторождения олова связаны со сподуменовым типом пегматитов. Пегматиты залегают в виде жил, линз, иногда трубообразных тел. Касситерит приурочен к участкам альбитизации и грейнитизации пегматитов. Оруденение неравномерное, гнездное и вкрапленное.

Касситерит-кварцевая формация оловорудных месторождений генетически связана с гранитами. Орудение развито как внутри гранитных массивов, так и в зоне экзоконтакта. Рудные тела представлены касситерит-кварцевыми жилами и зонами грейзенов, являющимися более высокотемпературным типом гидротермальной минерализации по сравнению с жильной. Касситерит-кварцевые жилы приурочены к трещинам скалывания и отрыва. Касситерит в жилах сопровождается альбитом, микроклином, флюоритом, вольфрамитом, молибденом, висмутином, арсенопиритом и другими минералами.

Касситерит-сульфидная формация широко распространена и является основным источником добычи олова. Месторождения связаны с гранитами и гранодиоритами, формируются под воздействием высоко- и среднетемпературных гидротермальных растворов и контактово-метасоматических процессов на умеренных и малых глубинах и в приповерхностной зоне. Руды тонкозернистые, с мелкими кристаллами касситерита, распределенными относительно равномерно.

Касситерит-сульфидные руды с преобладанием свинца и цинка сложены обычно кварцем, касситеритом, пирротином, сфалеритом, галенитом и сидеритом. Касситерит-сульфидные месторождения важны как объекты комплексных руд для получения оловянно-свинцово-цинковых, реже оловянно-медных и других концентратов металлов.

КРАТКИЕ ИСТОРИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ. Первые сведения о висмуте появились в начале XVI в. в трудах минералога и металлурга Георга Бауэра (Агриколы). В 1739 г. немецкий химик Погт установил самостоятельность элемента висмута (раньше его считали разновидностью других элементов – свинца, олова или сурьмы). Окончательно как элемент он был открыт в 1799 г. шведским химиком Т. Бергманом.

Висмут – белый металл с розоватым оттенком. Он обладает диамагнитностью, плохой теплопроводностью, низкой температурой плавления ($271,3^{\circ}\text{C}$), высокой температурой кипения (1560°C) и способностью расширяться в объеме при затвердевании. Висмут и его соединения обладают дезинфицирующими и антисептическими свойствами.

ГЕОХИМИЯ. Висмут является последним членом подгруппы мышьяка. Относится к халькофильным элементам. Ближайшие аналоги висмута – сурьма и свинец. Кларк его по А. П. Виноградову составляет $9 \cdot 10^{-7} \%$. Содержание висмута повышается от ультраосновных магматических пород ($1 \cdot 10^{-7} \%$) к кислым ($1 \cdot 10^{-6} \%$). Он представлен одним изотопом с массовым числом 209. Характеризуется переменной валентностью, в природных условиях преобладает Bi^{3+} . Высокое сродство к сере, способность существовать в свободном состоянии и склонность к образованию основных солей определяют важнейшие формы нахождения висмута в природе.

На магматическом этапе висмут не концентрируется. Его накопление связано с постмагматическими процессами гранитоидных магм. Из магматических очагов он выносится в хлоркомплексах (BiCl^{2+} , BiCl^0) и гидрооксокомплексах ($\text{Bi}(\text{OH})_3$, $\text{Bi}(\text{OH})_2^{-}$). При экзогенных процессах первичные сульфидные соединения висмута окисляются (образуются оксидные и карбонатные соединения). При слабом проявлении процессов окисления висмутин и самородный висмут могут образовать россыпи.

МИНЕРАЛОГИЯ. Висмут в том или ином количестве в виде изоморфной примеси входит в состав некоторых сульфидов, а также образует самостоятельные минералы. Известно около 90 минералов висмута, но промышленное значение имеют немногие из них: самородный висмут, висмутин, виттихенит, тетрадимит, галеновисмутит, козалит, айкинит, бисмит, бисмутит.

Самородный висмут (содержание Bi 99,9 %) кристаллизуется в тригональной сингонии, кристаллы ромбоэдрические, псевдокубические, агрегаты зернистые, листоватые, перистые, дендриты. Цвет желтовато-белый, блеск металлический, твердость 2–2,5, удельная масса $9,8 \text{ г/см}^3$.

Висмутин Bi_2S_3 (Bi 81,3 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы призматические и игольчатые, цвет свинцово-серый, белый с желтоватой и синей побежалостью, блеск металлический, твердость 2–2,5, удельная масса $6,8 \text{ г/см}^3$. Встречается в гидротермальных месторождениях жильного типа в ассоциации с топазом, бериллом, в золото-кварцевых жилах и медно-висмутовых месторождениях.

Виттихенит Cu_3BiS_3 (Bi 42,15 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы тетраэдрические, агрегаты зернистые, цвет темно-серый до светло-серого, черта черная, блеск металлический, твердость 2–3, удельная масса $6,3 \text{ г/см}^3$. Встречается в гидротермальных жилах богатых медью и висмутом.

Тетрадимит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ (Bi 59,27 %) кристаллизуется в тригональной сингонии, кристаллы ромбоэдрические, агрегаты листоватые и зернистые. Цвет стально-серый, блеск металлический, твердость 1,5–2, удельная масса $7,3 \text{ г/см}^3$. Распространен в гидротермальных и контактово-метасоматических месторождениях.

Галеновисмутит PbBi_2S_4 (Bi 55,48 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы игольчатые, столбчатые пластинчатые, агрегаты зернистые. Цвет минерала оловянно-белый до светло-серого, черта светло-серая, блестящая, твердость 2,5–3,5, удельная масса $7,1 \text{ г/см}^3$. Встречается в высокотемпературных месторождениях висмута, скарнах и золото-кварцевых жилах.

Козалит $\text{Pb}_5\text{Bi}_2\text{S}_5$ (Bi 42,10%) (по руднику Козала в Мексике) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы призматические, игольчатые, агрегаты шестоватые, лучистые, зернистые, цвет свинцово-серый, черта черная, твердость 2,5–3, удельная масса $6,7\text{--}7,0 \text{ г/см}^3$.

Айкинит $\text{CuPbBi}_2\text{S}_3$ (Bi 36,29 %) (по фамилии Айкин) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы длинностолбчатые до игольчатых, агрегаты зернистые и друзы. Цвет минерала серый с цветной побежалостью, черта серовато-черная, блестящая, твердость 2–2,5, удельная масса $7,1 \text{ г/см}^3$.

Бисмит Bi_2O_3 (Bi 89,6 %) кристаллизуется в моноклиальной сингонии, кристаллы псевдоромбические, агрегаты тонкозернистые и порошковатые, цвет серовато-зеленый, желтый, блеск полудрагоценный, матовый, твердость 4,5, удельная масса $9,2 \text{ г/см}^3$. Развита в зоне окисления.

ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Висмут входит в разнообразные сплавы со свинцом, оловом, кадмием и мышьяком. Их особенность состоит в том, что они плавятся при температурах, гораздо менее высоких, чем точка плавления отдельных входящих в их состав металлов. В связи с этим они применяются для автоматических огнетушителей, а также для электрических предохранителей, предохранительных пробок паровых котлов. Благодаря способности висмута расширяться при затвердевании он используется для изготовления линейных форм, для производства отливок изящных предметов и для гальванопластики.

В металлургии висмут применяется как добавка к нержавеющей стали. Он широко используется также в производстве оптических стекол и стекол с защитными свойствами против радиации, в химической промышленности (в качестве катализатора), в керамике (изготовление цветных эмалей и глазури), в электронике, ядерной технике, а также в фармацевтической промышленности.

РЕСУРСЫ И ЗАПАСЫ. Минерально-сырьевая база висмутодобывающей промышленности представлена как собственно висмутовыми, так и комплексными висмутсодержащими месторождениями.

Общие запасы висмута в мире (без учета стран СНГ) составляют около 130 тыс. т. ведущими странами-держателями запасов висмута являются: Япония (более 40 тыс. т), США (30 тыс. т) и Австралия (20 тыс. т). Значительные запасы этого металла сосредоточены в Боливии, Мексике, Перу, Канаде, Китае, России и других странах.

Уникальные месторождения висмута встречаются редко (месторождение Теннант-Крик в Австралии). Богатые руды содержат Bi более 1%, рядовые – 1–0,2%, бедные – менее 0,2% (в комплексных рудах).

Урок №17.

Тема: Сурьма, ртуть, алюминий, магний

Сурьма – твердый и хрупкий серебристо-белый с синеватым оттенком металл, который при обычной температуре на воздухе не окисляется, но при нагревании сгорает, образуя оксид в виде белого дыма.

ГЕОХИМИЯ. Кларк сурьмы $5 \cdot 10^{-5}$ %. Величина кларка мало изменяется для магматических пород, несколько увеличиваясь в производных базальтоидной магмы. В осадочных породах наиболее высокие концентрации Sb отличаются в сланцах ($1,2 \cdot 10^{-4}$ %), бокситах и фосфоритах ($2 \cdot 10^{-5}$ %). Сурьма представлена двумя стабильными изотопами с массовыми числами 121 и 123.

Сурьма, с одной стороны, в природных соединениях имеет свойства металла и является типичным халькофильным элементом, образуя антимонит, а с другой стороны, ей свойственны черты металлоида, проявляющиеся в образовании различных сульфосолей – буланжерита, бурнонита, джемсонита и др. В этих минералах четко проявляется изоморфизм сурьмы, мышьяка, висмута и др. Источник сурьмы, по мнению большинства исследователей, ювенильный – подкоровый. В гидротермальных растворах сурьма переносилась в комплексных соединениях в виде тиоокислот типа Na_3SbS_3 ; возможен также перенос в галогенидах типа SbCl_3 , обладающих высокой летучестью. Минералы сурьмы осаждались в интервале температур $400\text{--}50^\circ \text{C}$. В экзогенных условиях первичные сульфидные минералы подвергаются окислению, возникающий при этом сульфат сурьмы очень неустойчив, быстро гидролизует и переходит в оксиды и гидрооксиды – сурьмяные охры (сервантит, стибиоконит, валентинит и др.).

МИНЕРАЛОГИЯ. Известно 75 минералов, содержащих сурьму. В первичных рудах главным минералом является антимонит, на долю которого приходится не менее 85 % производства сурьмы. Меньшее значение имеют: в первичных рудах ливингстонит, бертьерит, гудмундит, тетраэдрит, джемсонит, буланжерит, надорит; в оксидных рудах – валентинит, сенармонтит, сервантит, кермезит, стибиоконит.

Антимонит (синоним: *стибнит*, *сурьмяной блеск*) Sb_2S_3 (содержание Sb 71,4 %) кристаллизуется в ромбической сингонии, габитус кристаллов столбчатый, игольчатый, агрегаты зернистые, спутанноволокнистые, веерообразные. Цвет минерала серый до черного с синей или радужной побежалостью, черта черная, твердость 2, удельная масса $4,66 \text{ г/см}^3$. Распространен в низкотемпературных, гидротермальных сурьмяно-ртутных месторождениях, реже в свинцово-цинковых, в отложениях горячих источников и возгонах вулканов.

Ливингстонит HgSb_4S_7 (Sb 51,6 %) (по фамилии Ливингстон) кристаллизуется в моноклиальной сингонии, кристаллы столбчатые или игольчатые, агрегаты волокнистые и лучистые. Цвет свинцово-серый, черта красная, блеск полуметаллический, твердость 2, удельная масса $4,8\text{--}5,0 \text{ г/см}^3$. Встречается в гидротермальных месторождениях в парагенезисе с киноварью, антимонитом, валентинитом, гипсом и серой.

Бертьерит FeSb_4S_4 (Sb 57,0 %) (по фамилии Бертье) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы игольчатые или призматические, агрегаты зернистые, волокнистые, перистые. Цвет минерала темно-серый, часто с пестрой побежалостью, черта буро-серая, твердость 2–3, удельная масса $4,64 \text{ г/см}^3$.

Гудмундит FeSbS (Sb 57,8 %) кристаллизуется в моноклиальной сингонии, кристаллы призматические, агрегаты зернистые, цвет серебристо-белый, блеск металлический.

Валентинит Sb_2O (Sb 83,5 %) (по фамилии Валентин) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы призматические, таблитчатые, агрегаты сплошные с пластинчатой, столбчатой или зернистой структурой, блеск алмазный, твердость 2,5–3, удельная масса 5,76 г/см³.

Сенармонтит Sb_2O_3 (Sb 83,5 %) (по фамилии Сенармон), кристаллизуется в кубической сингонии, габитус октаэдрический, агрегаты землистые и в виде корочек, бесцветный или сероватый, твердость 2–2,5, удельная масса 5,5 г/см³.

Сервантит Sb_2O_4 (Sb 79,2 %) (по фамилии Сервантес) кристаллизуется в ромбической сингонии, кристаллы игольчатые, агрегаты порошковатые, плотные, цвет белый, желтый, твердость 4–5, удельная масса 5 г/см³.

ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Металлическая сурьма вследствие своей хрупкости применяется очень редко. Она используется в основном в качестве составной части сплавов. Сурьма придает прочность, твердость и коррозионную устойчивость сплавам со свинцом, медью, цинком. На производство 1 т баббитового сплава расходуется от 30 до 200 кг сурьмы. Она широко применяется для изготовления «британского металла» (олово, сурьма и медь), идущего для производства посуды и утвари. Наиболее емкими и традиционными потребителями сурьмы и ее сплавов являются автомобильная, полиграфическая, химическая и стекольно-керамическая промышленность. Кроме того, сурьма применяется для воронения стали, в пиротехнике, медицине, для изготовления полупроводников.

Особенно ценятся в промышленности богатые антимонитовые руды (Sb_2S_3), именуемые крудум. Они применяются непосредственно в ряде отраслей промышленности и для выплавки регулюса – металлической сурьмы. Сурьму получают из сурьмяных, ртутно-сурьмяных и золото-сурьмяных руд, попутно из полиметаллических, оловянных и вольфрамовых руд. Минимальное содержание Sb в рудах для рентабельной переработки должно быть не менее 1,5–2 %, а в комплексных рудах более 0,5 %.

РЕСУРСЫ И ЗАПАСЫ. Ресурсы сурьмы оценены в 33 странах. По данным ГНПП «Аэрогеология» Министерства природных ресурсов РФ они составляют 7,4 млн т. Основная часть их сосредоточена в Китае (43 %), России (12 %), а также в Таджикистане, Таиланде, Боливии, ЮАР, Мексике и Киргизии (27 % суммарно). Общие мировые запасы сурьмы составляют 6,3 млн т, а подтвержденные – 4,6 млн т. Доминирующая роль принадлежит Китаю – 50 % общих и 49 % подтвержденных мировых запасов. Доля России в общих запасах – 7 % (2-е место в мире), в подтвержденных – 4 % (6-е место).

Высоким качеством руд отличаются жильные месторождения. Среди них по содержанию металла (более 20 % Sb) выделяются месторождения Сарылах и Сентачан в Республике Саха. Крупнейшее в мире месторождение Сингуаньшань, расположенное в провинции Хунань (Китай), представлено пластообразной рудной залежью.

Геологоразведочные работы на сурьму в 1995–2000 гг. проводились в ограниченных масштабах, что связано с падением с 1995 г. цен на этот металл. В Канаде компанией «*Roycefield Resources*» уточнены запасы месторождения Бивербрук (о. Ньюфаундленд). В России проводилась доразведка запасов сурьмы Олимпиадинского месторождения, ранее разведанного на золото.

По запасам металла месторождения сурьмы подразделяются на уникальные (более 100 тыс. т; Гравеллот в ЮАР, Сингуаньшань в Китае), крупные – 100–30 тыс. т, средние – 30–10 тыс. т, и мелкие – менее 10 тыс. т.

ДОБЫЧА И ПРОИЗВОДСТВО. В 1995–2000 гг. добыча и производство сурьмы осуществлялась в 17 странах. Мировое производство сурьмы в концентратах составляло 125–160 тыс. т. Основная часть мирового производства сурьмы в концентратах сосредоточена в Китае (74 %), которому значительно уступают Россия (5,7 %), Боливия (5,4 %) и ЮАР (3,9 %).

АЛЮМИНИЙ Общие сведения

Кларк алюминия 8,05%. Он встречается в повышенных количествах в щелочных породах, в анортозитах, в бокситах, глинах и каолинах, а также в алунитовых породах, возникающих преимущественно при гидротермальной переработке кислых вулканитов и высокоглиноземистых кристаллических сланцев. Глинозем переносится в целых и сильнощелочных растворах. Характерна ассоциация с алюминием галлия, иногда титана, железа.

Промышленные минералы алюминия (в скобках содержание в %): бемит и диаспор — Al_2O_3 (85), гидраргиллит (гиббсит) — $\text{Al}(\text{OH})_3$ (65), алунит — $\text{KAl}_3(\text{OH})_6[\text{SO}_4]_2$ (37), нефелин $\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$ (34), лейцит — $\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$ (23,5), андалузит, кианит! (дистен) — $\text{Al}_2\text{O}_3[\text{SiO}_4]$ и силлиманит — $\text{AlO}[\text{AlSiO}_4]$ (63,1), каолинит, дикцит и накрит — $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$ (до 40), кальсилит — $\text{K}[\text{AlSiO}_4]$, анортит — $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, давсонит — $\text{NaAl}(\text{OH})_2\text{CO}_3$.

Первые три минерала входят в состав наиболее важных в настоящее время руд алюминия — бокситов. К бокситам относят высокоглиноземистые породы, содержащие не менее 28% Al_2O_3 при отношении Al_2O_3 : SiO_2 более 2,6. Усложняют переработку бокситов повышенные количества FeO , TiO_2 , CaO , V , Cr , Ga , Cu , Fe^{2+} и органическое вещество. Среди бокситов выделяют гидраргиллитовые (тригидратные), моногидратные (диаспоровые, бемитовые и диаспор-бемитовые) и смешанные. Залежи бокситов сопровождаются высокоглиноземистыми породами, содержащими менее Al_2O_3 , чем бокситы. В наиболее глиноземистых аллитах отношение Al_2O_3 : SiO_2 , т. е. кремниевый модуль меньше 2,6; еще меньше этот модуль (около 1) у сиаллитов, состав которых в основном каолиновый. В СССР и некоторых других странах алюминий получают не только из бокситов, но и из нефелина и алунита, в Польше в порядке эксперимента — из золы бурых углей. Разработана технология извлечения алюминия из лейцитовых пород, кианита, каолинита. В некоторых странах (в том числе США, Норвегия) с этой целью использовали анортозиты. Возможно получение алюминия из высокоглиноземистыми металлургических шлаков, например оолитовых железных руд. Температура плавления алюминия 660 °С, плотность 2,7 г/см³, он устойчив к коррозии, хорошо проводит электрический ток, обладает высокой теплопроводностью. Алюминий широко применяют в авиации, автомобилестроении, судостроении и др. Его в больших количествах используют в электротехнике (в том числе в производстве алюминиевой проволоки), для изготовления предметов быта. Получают сплавы алюминия с цинком, никелем, магнием, титаном, медью, кремнием, бериллием, цирконием. Эти сплавы имеют небольшую плотность, но повышенные прочность, твердость, тугоплавкость и другие полезные свойства. Из бокситов получают электрокорунд, рубин, огнеупоры, высококачественный глиноземистый, в том числе тампонажный быстротвердеющий цемент, сернокислые соли алюминия и др. В большом количестве в огнеупорной промышленности используют кианит, андалузит, силлиманит.

При производстве алюминия из бокситов и других видов сырки вначале получают глинозем, а затем восстанавливают его до металлического алюминия. По методу Байера, глинозем из бокситов получают следующим образом.

Ведущие страны по добыче бокситов и производству алюминия — Австралия, Ямайка, Суринам, Гайана, Греция, Гвинея, США, Индия, Франция, Гана, Бразилия, Малайзия и Индонезия. Крупными запасами бокситов располагают также Мали, Камерун и некоторые дру-1 ПО страны. Из социалистических стран ведущие по производству алюминия — СССР, Венгрия и Югославия. Канада, Япония, ФРГ и Норвегия, являясь крупными производителями алюминия, получают «то в основном из импортируемых бокситов.

Генетические типы промышленных месторождений

Среди месторождений алюминия выделяются следующие типы: 1) магматические, 2) гидротермальные, 3) россыпные, 4) выветривания, 5) выветривания и осадочные (полигенные), 6) осадочные, 7) эффузивно-осадочные, 8) метаморфогенные.

Магматические месторождения представлены следующими формациями: а) апатит-нефелиновой и апатит-редкометально-нефелиновой в щелочных породах, б) нефелиновых сиенитов, в) анортозитов, г) лейцитовых и псевдолейцитовых (кальсилитоносных) пород. Наибольшее практическое значение для извлечения алюминия имеют формация апатит-нефелиновая и собственно нефелиновых сиенитов.

Месторождения этого типа характеризуются крупными запасами и представлены комплексными рудами. Форма рудных тел — штоки, линзы, пласто- и жиллообразные залежи. Примером месторождений апатит-нефелиновой формации могут служить Хибинские в Мурманской области. Они являются источником фосфора и фтора (из апатитов), алюминия, соды, поташа (из нефелина). Причем при переработке нефелина получают также цемент. (Характеристика Хибинских месторождений приведена при рассмотрении месторождений Фосфора). К формации апатит-редкометально-нефелиновых руд относится Ловозерское. Оно является источником тантала и титана (лопарит), фосфора (apatит) и алюминия (нефелин). Примером формации собственно нефелиновых сиенитов, разрабатываемых для производства глинозема, может служить Кия-Шалтырское месторождение в Сибири.

Среди нефелиновых пород как источника глинозема выделяются три яма. К первому относят уртиты и ийолит-уртиты, считающиеся высокосортными рудами, переработка которых возможна без предварительного обогащения методом спекания (кия-шалтырские уртиты). Ко

второму относят средние по качеству высокожелезистые руды, представленные тералит-сиенитами, плагиоклазовыми ийолитами и др. Эти руды требуют обогащения для удаления железистых минералов, что вызывает дополнительные расходы. К третьему типу относятся высококремнистые нефелинсодержащие породы, например ювиты, фойяиты, миаскиты и др. Содержание SiO_2 в них 54—5.7%, и они требуют более сложной переработки, в связи с чем в настоящее время не могут иметь промышленного значения.

Месторождения анортозитов эксплуатировались для получения алюминия в некоторых странах, в том числе и в США. Разработка была рентабельной до тех пор, пока находил сбыт попутно получаемый цемент. В отдельных странах, в том числе в Италии, изучались возможности получения глинозема из лейцитсодержащих пород.

К группе гидротермальных алюминиевых месторождений следует относить алунитовую, корунд-андалузитовую и в известной мере каолиновую формации. В настоящее время для производства глинозема разрабатывают месторождения

алунита. Попутно получают серную кислоту (на каждую тонну Al_2O_3 получают 10,5 т серной кислоты). В СССР разрабатывается Загликское месторождение в Азербайджане. Корунд-андалузитовые месторождения разрабатываются для получения корунда и андалузита. Последний используется в огнеупорной промышленности. Пример месторождений рассмотрев ниже при характеристике месторождений корунда. Известные в СССР гидротермальные месторождения каолина невелики по масштабам.

К россыпным месторождениям следует относить россыпи с силлиманитом, кианитом и андалузитом. К прибрежно-морским комплексным россыпям относятся циркон-ильменит-силлиманитовые россыпи Украины, из которых добывают силлиманит для огнеупорной - и других отраслей промышленности. Примером делювиальной корунд-андалузитовой россыпи служит россыпь месторождения Семпиз-Бугу в Казахстане.

Месторождения выветривания, сложенные латеритными бокситами, представляют собой ведущую мировую сырьевую базу алюминия. К ним принадлежат такие гигантские месторождения, как Боке в Гвинее, месторождения Ганы, Индии, Камеруна, Сьерра-Леоне, Мали. В составе латеритных бокситов отмечаются характерные элементы, наследуемые от исходных пород. Например, в районе Дарлинг-Рейндж в Австралии в бокситах, развитых за счет гранито-гнейсов, повышено количество галлия и циркония, а по долеритам — ванадия, хрома, титана и меди. Следует также отметить, что бокситы, образовавшиеся за счет гранито-гнейсов, содержат повышенное количество SiO_2 (8—13%). Среди месторождений рассматриваемой группы выделяют линейный, линзообразный и бовальный типы.

К линейному типу относятся месторождения с линейно вытянутыми рудными телами. Кора выветривания формировалась в узких гребневидных поднятиях. Бокситы образовались в верхних зонах коры выветривания. Примером в СССР служит Висловское месторождение, расположенное в КМА, где бокситы развились за счет выветривания филлитовидных сланцев курской серии и амфиболитовых сланцев Михайловской серии нижнего протерозоя. Длина залежей от первых километров до нескольких десятков километров, ширина — несколько сот метров. Состав байеровских руд месторождения (в %): Al_2O_3 50,6, SiO_2 7,1, Fe_2O_3 8,1, FeO 16,6, TiO_2 1,3, CaO 0,0, MgO 0,6, п.п.п. 14,8, а бокситы спекального сорта: Al_2O_3 48,4

SiO_2 11,2, Fe_2O_3 6,5, FeO 19,1, TiO_2 1,25, CaO 0,6, MgO 0,6, п.п.п. 13,1. Состав руд бёмитовый или бёмит-гиббситовый.

К линзообразному типу принадлежит Высокопольское месторождение на Украине. Оно состоит из 10 небольших гиббситовых и гиббсит-каолинитовых линзовидных залежей длиной 0,5—3 км, при существенно меньшей ширине.

Наиболее крупные месторождения рассматриваемой группы относятся к бовальному типу. Боваль — это обширная плоская возвышенность изометричной или близкой к ней формы, она ограничивается крутыми обрывистыми склонами высотой до нескольких десятков метров, спускающимися к речным долинам. Форма бовальных залежей бокситов пласто- или плащеобразная, они приурочены к верхним частям возвышенностей. **Мощность залежей** 1—15 м, зоны с бокситоносными бовалями протягиваются на десятки и сотни километров. К этому типу относятся месторождения Боке в Гвинее, ряд месторождений Индии, Ганы и других стран. Месторождения обладают крупными запасами и высоким качеством.

Полигенные или комплексные по генетическим особенностям месторождения выветривания и осадочные месторождения бокситов характеризуются значительными запасами и нередко высоким качеством. К этому типу относятся некоторые месторождения СССР, а также крупнейшие месторождения Австралии и стран Западной Африки. Одни рудные тела этих месторождений сложены латеритными бокситами, другие переотложенными. Наблюдаются тела, представленные латеритными и переотложенными бокситами. В связи с этим данный тип месторождений считается переходным от латеритных к осадочным. Среди месторождений рассматриваемого типа различают карсто-линзообразные, линзо- и пластообразные. Вежаю-варыквинское месторождение — пример карсто-линзообразного типа. Бокситы этого типа диаспор-гематит-шамозит-бёмитовые. Залежи приурочены к закарстованной поверхности. К линзообразному типу отнесены месторождения Арканзасской группы в США и Гвианской береговой равнины на севере Южной-Америки. Арканзасские месторождения представлены латеритными и осадочными бокситами, формирующими линзообразные тела. Источник глинозема здесь — нефел и новые сиениты, подвергнувшиеся выветриванию. Осадочные бокситы сложены делювиально-пролювиальными и аллювиальными разновидностями. Состав бокситов Арканзасских месторождений гиббситовый с примесью каолинита, гематита и др. Мощность залежей 3—50 м. С бокситами ассоциируют огнеупорные глины. Пластообразный тип рассматриваемой группы представлен крупными залежами большой мощности и протяженности. Залежи приурочены обычно к древним поверхностям выравнивания. Формирование бокситов сопровождалось переотложением латеритной коры выветривания. Возможно, бокситообразование происходило после переотложения. Примеры — месторождение Уэйна в Австралии и Сангареди в Гвинее. Осадочные месторождения разделяются или на: а) месторождения терригенных толщ и б) карбонатных толщ; или на а) месторождения геосинклинальных областей и б) платформенных областей, в которых выделяют месторождения древних и молодых платформ. Пример месторождений древних платформ — месторождения Северо-Онежской группы и Тихвинское, молодых платформ — месторождения Тургайского прогиба, а геосинклинальных областей — Северо-Уральская и Салаирская группы. К месторождениям в карбонатных толщах относятся Северо-Уральская группа, ряд месторождений Югославии, Венгрии, Франции, а в терригенных толщах — Тихвинское и Северо-Онежское и др. Для осадочных месторождений характерна пластовая и линзовидная, а также кармано- и гнездообразная форма тел. Бокситы геосинклинальных областей имеют выдержанное высокое качество, преобладают диаспор-бёмитовые, диаспоровые и бёмитовые разновидности, и только в слабодислоцированных месторождениях мела и палеогена бокситы содержат гиббсит. Состав платформенных бокситов каолинит-бёмитовый, каолинит-гиббситовый, каолинит-гиббсит-бёмитовый. Нередко бокситы связаны с угленосными осадками, причем обычно угленосные толщи расположены выше бокситоносных. Залежи бокситов приурочены к склоновым частям поднятий, к впадинам древнего карста, карстово-котловинным депрессиям, руслам древних водотоков (овражно-балочный или долинный тип). На месторождениях устанавливаются некоторые закономерности в локализации руд. Например, на Тихвинском месторождении долинного типа в центральных частях залежей руды более высококачественные, чем в периферических. Низкосортные периферические руды далее сменяются аллитами и сиаллитами.

К эффузивно-осадочным месторождениям следует относить некоторые месторождения давсонита. Наиболее крупные месторождения давсонита известны в США. Они являются источником получения алюминия и соды. Залежи давсонита установлены в эффузивно-осадочных отложениях впадины Пайсинес-Крик в шт. Колорадо, США. Давсонит связан с битуминозными сланцами, входящими в состав толщи, слагающейся также туфогенными песчаниками, глинистыми сланцами, алевролитами, известняками. Вместе с давсонитом установлен содовый минерал — нахколит, их среднее содержание в битуминозных сланцах составляет соответственно 10,7 и 15,5%, мощность сланцев 250 м. Ориентировочные запасы давсонита 24,5 млрд. т, что соответствует 8,5 млрд. т АЬОз. Давсонит легко извлекается из пород 2%-ным раствором H₂SO₄ или 2%-ным раствором NaOH. Полагают, что давсонит возник за счет разложения содовыми водами пирокластического материала — источника глинозема. Генезис давсонитовых скоплений не всегда ясен. Этот минерал возникает и при разложении алюмосиликатов терригенных толщ, связанных с размывом и переотложением интрузивных пород, и в корах выветривания, в том числе совместно с бокситами, и гидротермальным путем. Его скопления связаны с осадочными угленосными, битуминозными и эффузивно-осадочными формациями.

К метаморфогенным месторождениям следует относить месторождения кианита и силлиманита в кристаллических сланцах. В СССР наиболее известна Кейвская группа месторождений кианита. Разрабатываются аналогичные месторождения кианита в Индии и некоторых других странах.

ГЕОХИМИЯ. Кларк ртути $8,3 \cdot 10^{-6}$ %. В природе она находится в рассеянном состоянии и только 0,02 % ее сосредоточено в месторождениях. В магматических породах различного состава содержание ртути близко к кларковому, увеличиваясь в щелочных породах до $1 \cdot 10^{-4}$ – $1 \cdot 10^{-2}$ %. Среди осадочных пород максимальные концентрации ртути установлены в глинистых сланцах (до $2 \cdot 10^{-5}$ %). В водах Мирового океана содержание ртути составляет $1 \cdot 10^{-6}$ г/л. Известно семь стабильных изотопов ртути с массовыми числами 196, 198–202 и 204, среди которых преобладает ²⁰²Hg. Важной геохимической особенностью ртути является то, что в ряду других халькофильных элементов она характеризуется самым высоким потенциалом ионизации. Это определяет такие свойства ртути, как способность восстанавливаться до атомарной формы (самородной ртути), значительную химическую стойкость к кислороду и кислотам.

По мнению многих геологов, источник ртути ювенильный – подкоровый. Из мантии гидротермальные растворы, содержащие Hg, Sb и As, поступали по глубинным разломам. Перенос ртути в них осуществлялся в виде сульфидных комплексов (HgS²⁻), устойчивых в щелочных растворах при низком окислительном потенциале Eh. В действующих вулканах и термальных источниках ртуть может мигрировать в газовом состоянии и в газовой фазе гидротерм.

В зоне гипергенеза киноварь и металлическая ртуть растворимы в воде даже при отсутствии сильных окислителей. Особенно хорошо растворяется ртуть в сульфидах едких щелочей с образованием, например, комплекса HgS·nNa₂S. Она легко сорбируется глинами, гидроксидами железа и марганца, глинистыми сланцами и углями.

МИНЕРАЛОГИЯ. Известно 25 минералов, содержащих ртуть, но промышленное значение имеют киноварь, метациннабарит, самородная ртуть, блеклая руда (шватцит), кордероит, ливингстонит и каломель.

Киноварь HgS (содержание Hg 86,2 %) кристаллизуется в тригональной сингонии, габитус кристаллов ромбоэдрический, агрегаты зернистые, вкрапленные,

порошкообразные. Цвет минерала ярко- и коричневатокрасный, блеск алмазный, матовый, твердость 2–2,5, удельная масса 8 г/см³. Встречается в ртутных, ртутно-сурьмяных месторождениях, реже в золотоносных кварцевых жилах.

Метациннабарит HgS (Hg 86,2 %) кристаллизуется в кубической сингонии.

Ртуть самородная Hg. Часто содержит примеси Ag, Au. Образует агрегаты в виде мелких капель, цвет серебристо-белый, блеск металлический, удельная масса при температуре 0° С 13,59 г/см³.

Каломель Hg₂Cl₂ (Hg 85 %) кристаллизуется в тетрагональной сингонии, габитус кристаллов таблитчатый. Цвет минерала бесцветный, белый до коричневого, твердость 1,5, удельная масса 7,27 г/см³.

ПРИМЕНЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Применение ртути основано на ее специфических свойствах: при обыкновенной температуре она летуча; интенсивно расширяется при нагревании; способна растворять другие металлы, образуя амальгамы с Au, Ag, Pb, Zn, Al, Bi, а также излучать в парообразном состоянии ультрафиолетовые лучи.

В электро- и радиотехнической промышленности ртуть используется при изготовлении выпрямителей, ртутных прерывателей, осцилляторов, ртутно-кварцевых ламп, ламп дневного освещения и т. д. В медицине ртуть, ее оксиды и хлористые соли, являются составными частями различных мазей, зубоврачебных амальгам и т. д. В химической промышленности ртуть применяется в производстве хлора и каустической соды, при получении уксусной кислоты из ацетилена, в качестве катализатора при производстве пластмасс. В энергетике она используется в ртутно-паровых котлах и турбинах, в ядерных реакторах (как поглотитель тепла), в золотодобывающей промышленности – для улавливания золота. В небольших количествах она применяется в судостроении в виде специальных красок, в военной промышленности и горном деле, в сельском хозяйстве для протравки семян и т. д.

РЕСУРСЫ И ЗАПАСЫ. Ресурсы ртути известны в 40 странах, в 32 из них оценены количественно и составляют 715 тыс. т. Более половины мировых ресурсов ртути сосредоточено в Европе, в том числе 29 % – в Испании и 10 % – в Италии.

По данным ГНПП «Аэрогеология» Министерства природных ресурсов РФ общие запасы ртути учтены в 18 странах и составляли в 1997 г. 324 тыс. т, из которых 26 % было сосредоточено в Испании, 13,5 % – в Киргизии и 13 % – в России.

Ртуть добывают из ртутных, ртутно-сурьмяных, ртутно-мышьяковых и ртутно-золотых, а также попутно из полиметаллических, вольфрамовых и оловянных руд. Богатые руды содержат ртути более 1 %, рядовые 1–0,2 % и бедные менее 0,2 %. В настоящее время качественное состояние минерально-сырьевой базы мировой ртутной промышленности неудовлетворительное. В первую очередь это касается качества руд, которые лишь в Испании и Алжире содержат в среднем более 1,5 % Hg. Во всех остальных странах этот показатель не превышает 0,55 %. Подобное качество руд при сложившемся уровне цен не обеспечивает их рентабельную обработку, что послужило главной причиной закрытия многих рудников в 1990-х годах в России, Словении, Турции, Словакии и других странах.

По запасам металла выделяются месторождения уникальные – более 100 тыс. т, очень крупные 100–25 тыс. т, крупные 25–10 тыс. т, средние 10–3 тыс. т и мелкие менее 3 тыс. т.

ДОБЫЧА И ПРОИЗВОДСТВО. Добыча руды и производство первичной ртути в 1995–2000 гг. осуществлялось в 10 странах. Производство первичной ртути составляло 2,5–3,5 тыс. т. Основная часть мирового производства ртути было сосредоточена в четырех

странах: в Испании – 27 %, Китае – 19 %, Киргизии – 15 % и Алжире – 15%. Эти страны располагают самыми большими мощностями по производству первичного металла, за счет которых его уровень при необходимости может быть удвоен.

В Испании государственная компания «*Minas de Almaden y Arrayanes S. A.*» (MAYASA) сознательно ограничивает выпуск ртути для поддержания на мировых рынках приемлемого уровня цен. Сведения о производстве ртути в Китае, крайне ограничены. Производственные мощности в стране оцениваются в 1,2–1,4 тыс. т ртути в год. В Киргизии разрабатывается несколько участков Хайдарканского месторождения, а также менее крупное Чонкойское месторождение. За свою более чем полувековую историю Хайдарканской горно-металлургической комбинат выпустил более 30 тыс. т ртути. В 1995 г. этот комбинат был преобразован в государственную акционерную компанию «*Khaidarkan Mercury State Joint Stock Co.*» В России в 1970–1980 гг. Действовало четыре – пять небольших рудников на Северном Кавказе, Алтае и Чукотке. В настоящее время все они закрыты.

Урок №18.

Тема: Золото, серебро, платина, уран, торий

Золото. Минерально-сырьевая база отрасли

Сырьевая база золотодобывающей промышленности Казахстана представлена в основном мелкими (с запасами до 25 т) и средними (от 25 до 100 т) месторождениями, на которых в настоящее время добывается около 70% всего производимого в республике золота. Лидирующее положение занимают месторождения Восточного, Северного и Центрального Казахстана. В таблице 1 представлены наиболее значимые для отрасли золоторудные объекты.

Запасы золота в целом по республике оцениваются примерно в 800 т, при этом среднее содержание металла в руде составляет 6,3 г/т (для разрабатываемых месторождений этот показатель в среднем равен 9 г/т). Государственным балансом Казахстана на сегодняшний день учтено 237 золоторудных объектов, включая коренные (122), комплексные (81) и россыпные (34) месторождения. Распределение извлекаемых запасов и объемов добычи золота по геологопромышленным типам месторождений показано в таблице 2.

Для золоторудных месторождений Казахстана характерны низкое содержание металла в руде, а также наличие значительной доли труднообогатимых руд. Вместе с тем сравнительно благоприятные горнотехнические условия добычи позволяют сохранять ее себестоимость на уровне среднемировой.

Основные месторождения и золотодобывающие компании

В Казахстане золото добывается как на коренных золоторудных месторождениях, так и попутно, в качестве компонента полиметаллического сырья при производстве цветных металлов. По некоторым оценкам, крупнейшим его продуцентом в республике является ОАО “Казцинк”, которое ежегодно производит около 5,5-6 т этого драгметалла. Второе место занимает ОАО “Казахмыс”, где золото выпускается как попутный металл медного производства. В 2001 г. эта корпорация произвела 4 т золота, а в 2003 - чуть меньше 3.

В настоящее время около ста различных компаний имеют право на разработку золоторудных месторождений Казахстана. Из них реальной добычей занимается только 35. Крупнейшими недропользователями, на которых приходится более 90% всех инвестиций, направленных в золотодобычу, являются ОАО “Алтыналмас”, ОАО “Майкаинзолото”, ТОО “Бакырчикское ГДП”, ТОО “Чаралтын”, ГРК “АБС Балхаш”, ЗАО “ГМП Пустынное”, ЗАО ГРК “Алтын Тобе”, Компания “Кен”, ОАО ФИК “Алел”, ТОО ГРК “Андас Алтын”, ОАО “ГМК Казахалтын”, ЗАО ГМК “Алтын Аймак” (табл. 3).

Самым крупным в Казахстане золоторудным объектом является месторождение Васильковское, находящееся в 17 км северо-западнее города Кокшетау. Доказанные запасы Васильковки составляют 370 т золота, при среднем содержании металла в руде 2,8 г/т. Разработку объекта осуществляет совместное предприятие ОАО “Васильковское Золото”, созданное правительством Казахстана и нидерландской компанией Fooldgate Holding. Геология месторождения и качество руд на обогатимость хорошо изучены. Горнотехнические условия и мощность рудных тел позволяют вести открытую добычу до глубины 300 м.

Данное месторождение разрабатывается с 1979 года. На сегодняшний день освоено около 10% его запасов. С 1991 г. на Васильковском горно-обогатительном комбинате проводились полупромышленные испытания забалансовых и окисленных руд с применением метода кучного выщелачивания (КВ). В 1995 г. в связи с запуском установки кучного выщелачивания золота из отвальных и забалансовых руд, началась промышленная эксплуатация месторождения. Производительность установки КВ - 1 млн. т руды в год со среднегодовым производством от 600 до 900 кг золота. В перспективе предусматривается увеличение ее производительности до 7,4 млн. т руды в год. Наряду с применяемым методом КВ, Васильковский ГОК планирует строительство золотоизвлекательной фабрики по переработке первичных сульфидных руд.

Второе место по величине запасов занимает месторождение Бакырчик, расположенное на северо-востоке Казахстана (приблизительно в 100 км от города Семипалатинска). Его запасы составляют 326 т при среднем содержании золота 6,9 г/т. Разработка месторождения затруднена из-за высокого содержания в руде углерода, а также токсичного мышьяка, что создает угрозу загрязнения окружающей среды. Эта проблема может быть решена путем увеличения капитальных расходов, которые, впрочем, будут оправданы, учитывая высокие цены на золото. Месторождение интересно для отработки с применением технологии бактериального выщелачивания флотоконцентратов.

Следующими по запасам и промышленной значимости могут выступать месторождения Аксу, Кварцитовые Горки, Бестюбе, Жолымбет. Все они отрабатываются подземным способом. Руды на месторождениях представлены как кварцево-жильные, так и в виде минерализованных зон. Разработка месторождений этой группы была начата в 30-е гг. прошлого века, на сегодняшний день глубина шахт достигает 700 м. Добытые руды перерабатываются на Аксуской, Бестобинской, Жолымбетской обогатительных фабриках по гравитационно-флотационной схеме, с получением золото-серебросодержащих концентратов и шламов. Средний показатель извлечения золота, достигнутый на этих фабриках, колеблется от 71,3 до 91,8%. В течение последних трех

лет объемы производства ОАО “ГМК Казахалтын”, которое обрабатывает эту группу месторождений, составляют около 1 т золота в год.

К числу перспективных можно отнести месторождения Акбакайской группы - Акбакай, Бескемпир, Аксакал, Карьерное. Они находятся в Мойынкумском районе Жамбылской области, ближайшая железнодорожная станция Кияхты - в 100 км восточнее месторождений. Общие доказанные запасы месторождений, обрабатываемых подземным способом, составляют 95 т при среднем содержании золота около 11 г/т. Следует отметить наличие в руде таких вредных примесей, как мышьяк (0,1-0,76%) и сурьма (0,001-0,05%), что затрудняет при извлечении золота использование цианидов.

ГРК “АБС Балхаш” обрабатывает ряд мелких месторождений золота в Центральном и Южном Казахстане. В настоящее время добычные работы ведутся на месторождениях Ушкоки, Пустынное, Мынарал. В структуру компании входят обогатительные фабрики в поселке Шашубай и в городе Приозерске, их общая производственная мощность составляет 350 тыс. т руды в год. В 2002 г. группа компаний “АБС Балхаш” произвела 1,5 т золота, а в 2003 - около 2,5 т. Рост объемов достигнут за счет ввода новых горизонтов добычи шахт Енбекши и Мынарал (Карагандинская область) и на основном месторождении Юбилейное.

ЗАО ГРК “Алтын Тобе” осуществляет добычу окисленных руд на месторождении Жанан, которое расположено в 140 км от города Семипалатинска. Месторождение разрабатывается открытым способом, а извлечение золота проводится с применением метода кучного выщелачивания. В 2001-2002 гг. производство золота здесь составляло около 1065 кг в год, в 2003 году из-за истощения запасов окисленных руд оно снизилось до 650 кг.

Производство золота

В течение последнего десятилетия развитие золотодобывающей отрасли Казахстана сдерживало сочетание высоких производственных затрат и неудовлетворительный уровень менеджмента. Как следствие, уровень производства аффинажного золота в республике постоянно варьировался - от 8,8 т в 1998 г. до 16,5 т в 2001 году.

СЕРЕБРО

Общие сведения

Среднее содержание серебра в земной коре $7 \cdot 10^{-6}$ %. Геохимия серебра сходна с геохимией золота, меди, свинца, что обуславливает их совместную миграцию в растворах и нахождение в медьсодержащих, золоторудных и свинцово-цинковых месторождениях. В различных генетических типах этих месторождений в рассеянной форме сосредоточено около 90% всех запасов серебра. При повышенных концентрациях в гидротермальных растворах серебро способно образовывать самостоятельные природные скопления. Главнейшие минералы серебра: самородное серебро — Ag (обычно содержит примеси Au, Cu, Bi, Sb, Hg), аргентит (серебряный блеск) — Ag₂S, электрум — Ag, Au, пираргирит — Ag₃SbS₃ и прустит — Ag₃AsS₃. Серебро издавна используется для изготовления монет и ювелирных сплавов. И современной технике и технологии серебро применяется в электротехнической и электронной промышленности, в производстве промышленных сплавов, где оно часто заменяет олово (2% Ag заменяют 30% Sn). Сплавы применяются в ракетно- и самолетостроении, для изготовления химической аппаратуры и в производстве химического лабораторного оборудования (тигли, проволока и др.).

Серебро идет на изготовление аккумуляторных батарей военного назначения, применяется в фарфоровом, керамическом производстве, в медицине. И фото- и кинопромышленности серебро используется для изготовления светочувствительной эмульсии. Около 70—75% серебра извлекается попутно из руд цветных металлов, а также из золотых руд. Чисто серебряных месторождений имеется сравнительно немного. (а рубежом на их долю приходится всего 9 % запасов серебра. И СССР роль чисто серебряных месторождений также мала. Руды собственно серебряных месторождений разрабатываются при содержании серебра не менее 300 г/т. Основные запасы серебра сосредоточены в США, Мексике, Канаде, Перу, Австралии. Добыча серебра в 1975 г. велась более чем в 45 странах мира. Среднегодовой уровень добычи за 1971—1975 гг. составил около 7360 т (без СССР). Потребление серебра в 1975 г. достигало 12125 т (без СССР). Крупнейшие потребители серебра в промышленности— США, ФРГ, Япония, Великобритания и др. Цены на серебро на мировом рынке % 1975 г. варьировали от 13,2 до 15,9 центов за 1 г. В СССР действуют следующие стандарты на пробу серебра: 800, 875, 916.

Генетические типы промышленных месторождений

Серебро образует повышенные концентрации в месторождениях различных генетических типов: магматических, скарновых, гидротермальных, осадочных.

Гидротермальные месторождения имеют главное промышленное значение, особенно низкотемпературные. Основная масса серебра добывается из комплексных руд. В СССР промышленный интерес представляют медно-порфировые, золоторудные и свинцово-цинковые месторождения. Примерами служат медно-порфировые месторождения Армении, Казахстана, Средней Азии.

Прожилково-вкрапленные медно-молибденовые месторождения во вторичных кварцитах хотя и содержат относительно низкие концентрации серебра (от 3 до 28—85 г/т), в связи с крупными размерами являются промышленными источниками последнего в ряде стран. На их долю приходится до 50% добычи серебра (США, Перу и др.). В медно-порфировых и медно-молибденовых рудах серебро накапливается в халькопирите, пирите, галените, сфалерите, борните. Встречаются собственные минералы серебра: самородное серебро, электрум, теллуриды золота и серебра.

Золоторудные месторождения исключительно благоприятны для накопления серебра. Причем его концентрация резко возрастает (до 500 г/т) в близповерхностных вулканогенных месторождениях, генетически связанных с молодым андезит-дацитовым вулканизмом, и более низка (2—110 г/т) в глубинных золоторудных месторождениях, приуроченных к гранитоидам. Рассеянный тип серебряной минерализации характерен для золото-кварцевой и золото-сульфидной формаций. Примеры — месторождения Урала, Казахстана, Северо-Востока СССР, Забайкалья.

Свинцово-цинковые месторождения отличаются высокой сереброносностью руд, особенно близповерхностные вулканогенные. Более обогащены серебром комплексные свинцово-цинковые месторождения с содержанием в рудах сурьмы, олова, висмута (месторождения Якутии, Забайкалья). В них иногда содержится 800—2000 г/т Ag. Содержат серебро свинцово-цинковые месторождения с повышенным содержанием меди и висмута (месторождения Восточного Карамазара — Алмалыкское, Канимансур и др.), а также комплексные оловянно-свинцово-цинковые месторождения (Якутия, Забайкалье ж др.).

Собственно серебряные месторождения следует отметить в завершение обзора промышленных типов гидротермальных месторождений. Следует назвать гидротермальные низкотемпературные месторождения Мексики, на долю которых приходилось длительное время треть добычи серебра капиталистических стран. В районах Пачук и Вета Мадре среди эффузивных образований залегают богатые серебром продуктивные кварц-карбонатные жилы протяженностью до 1000 м и Мощностью 2—5 м.-

Магматические сульфидные медно-никелевые месторождения (Норильская и Кольская группа), *скарновые* месторождения сульфидных медных, медно-магнетитовых, золото-мышьяковых (в грано-диоритах), свинцово-цинковых (в гранитоидах) руд (Урал, Приморье и другие месторождения СССР; месторождения Канады, Мексики и др.) содержат иногда повышенные концентрации серебра (от 6 до 620—840 г/т). Последнее отмечается на свинцово-цинковых месторождениях Мексики. Серебро накапливается в галените, сфалерите, халькопирите, пирите и блеклых рудах; встречаются включения самородного серебра, аргентита и других, серебряных минералов.

В колчеданных месторождениях серебро накапливается в повышенных количествах в комплексных медно-цинковых и медно-свинцово-цинковых рудах (месторождения Кавказа, Алтая и др.).

- *Осадочные месторождения* своим происхождением в значительной степени обязаны биохимическим процессам. Отмечены повышенные содержания серебра в угольных пластах (до 10 г/т в золе), битуминозных сланцах (5—10 г/т) и в золе нефти (до 100 г/т). Серебряные минералы в зоне окисления часто ассоциируют с растительными остатками. На крупном месторождении Сильвер Риф (шт. Юта, США) в пластах сереброносного песчаника наблюдались остатки окаменелого дерева. Мощность пластов песчаников достигает 4—15 м. Содержание серебра 0,26%. На отечественных месторождениях медистых песчаников отмечается повышенное содержание серебра в борнит-халькозиновом типе руд, где встречаются самородное серебро и аргентит. Уникальны по запасам серебра месторождения цехштейна Польши и ГДР, где серебро связано с халькопирит-борнитовыми рудами. Россыпи серебра редки. Богатые элювиальные россыпи известны в Канаде (район Кобальт), где они образовались в результате разрушения богатых серебром первичных золоторудных месторождений.

ГРУППА ПЛАТИНЫ

Общие сведения

В группе платиновых металлов объединяются платина и пять платиноидов: палладий (Pd), родий (Rh), осмий (Os), рутений (Ru), иридий (Ir). Кларки платины и платиноидов составляют миллионные доли процента. Более распространены платина, палладий и иридий. Главные минералы: поликсен — Pt, Fe, палладистая платина — Pd, иридий — Ir, осмистый иридий — Ir, Os, сперрилит — PtAs₂, известны также ферроплатина — Pt, Fe, невьянскит — Ir, Os, куперит — PtS, сысертскит — Os, Ir и др. Интерес промышленности к платиновым металлам объясняется их весьма ценными свойствами. Высокая огнеупорность, хорошая электропроводность, химическая стойкость, способность поглощать газы и другие свойства обеспечили платиноидам особое место в отраслях новой техники. Основной потребитель платины, и ее сплавов — химическая промышленность. Платина, рутений, родий и др. — лучшие катализаторы при многих химико-технологических процессах (в производстве серной и азотной кислот, высокооктанового бензина и др.); сплавы рутения с платиной, нашли применение в

топливных элементах космических кораблей и искусственных спутников Земли и т. д. Термопары из сплава родия и платины позволяют измерять самую высокую температуру (до 1800°C). Родий обладает высокой отражательной способностью и поэтому его применяют для покрытия рефлекторов, прожекторов, технических зеркал измерительных приборов, ювелирных изделий; и т. д. Сплавы родия с платиной используются при изготовлении сосудов для плавления стекломассы получения тонких стеклянных и кварцевых нитей. Сплавы платины с 1—3% родия идут на изготовление лабораторной химической посуды для точных аналитических реакций. Такой посудой пользуются при анализе минералов. Палладий и его сплавы с серебром и рутением применяются в электротехнике в качестве контактов, с золотом — в зубоврачебном деле. Относительная дешевизна палладия делает его весьма перспективным заменителем платины. Минимальное содержание платины для коренных руд установлено 2—5 г/т породы, для россыпей 0,1—0,5 г/м³ песка. Для комплексных руд требования снижаются. Сульфидные медно-никелевые руды могут содержать платины 0,2—0,4 г/т. Месторождения с разведанными запасами платиноидов свыше 50 т считаются весьма крупными, от 5 до 50 т — крупными, 0,5—5 т — средними и менее 0,5 т — мелкими. На 1976 г. запасы платиноидов в мире оценивались в 12,8 тыс. т (без СССР). Добыча в 1975 г. достигла 71,7 т (без СССР). В основном платина добывается из месторождений платиновых руд ЮАР, медно-никелевых руд Канады, из россыпей Колумбии, Эфиопии, США. В СССР месторождения платиновых металлов имеются на Урале, в Сибири и др. В 1975 г. на мировом рынке среднегодовые цены на платиноиды, (в долл. за 1 г) следующие: платина 5—5,5, палладий 2,5, родий 12, рутений 1,4, осмий 4,5, иридий 15.

Генетические типы промышленных месторождений

Основные генетические группы промышленных месторождений платиноидов — магматическая и россыпная.

Собственно магматические месторождения в ультраосновных породах — дунитах, пироксенитах — представлены относительно небольшими гнездами, линзами, шширами, жилами и рассеянной платиной с хромитом, титаномагнетитом, осмистым иридием и др. Содержание главных платиновых металлов — платины и палладия — крайне неравномерное. Платина содержит железо, иридий, осмий, К данному типу относятся месторождения Урала, за рубежом — Колумбии, Аляски, Канады. Месторождения имеют важное промышленное значение.

Собственно магматические месторождения в основных породах располагаются в габбро-диабазе. Форма рудных тел массивных и вкрапленных медно-никелевых руд линзообразная. Минералы платиновой группы в рудах присутствуют в виде палладистой платины, сперрилита, куперита и др. Палладиевые и платиновые минералы содержат примеси родия, иридия, рутения, осмия. Платина и палладий извлекаются попутно с никелем, кобальтом и медью. Месторождения медно-никелевых руд обеспечивают почти половину мировой добычи платины и палладия. В СССР к этому типу относятся месторождения Сибири, за рубежом — Седбери (Канада), месторождения Юлдаой Африки, Норвегии и др.

Россыпи платины аналогичны золотоносным и другим россыпям по условиям образования и залегания. Платиновые минералы вместе с, хромшпинелидами, магнетитом и ильменитом концентрируются в делювиальных и аллювиальных долинных россыпях. Образование россыпей связано с разрушением выходов дунитов,

перидотитов и пироксенитов. Длина россыпей до нескольких десятков километров, ширина до 300 м. Платиноносные россыпи имеются в СССР на Ура-ИИ1. За рубежом россыпи разрабатываются на Аляске, в Колумбии, Зимбабве, Замбии, Заире, Эфиопии и др. Платиноиды встречаются и золотоносных и алмазоносных россыпях, в золотоносных конгломератах Витватерсранда. Россыпные месторождения платины играют второстепенную роль по сравнению с коренными месторождениями.

Уран — элемент высокой химической активности. В геологических процессах он весьма подвижен и образует природные концентрации самых различных генетических типов.

Известны месторождения урана магматического, пегматитовое, гидротермального, инфильтрационного и осадочного происхождения. Наиболее распространены гидротермальные и инфильтрационного образования.

В магматическом процессе при кристаллизации магм главная и масса Урана-отжимается в остаточный расплав. Уран, остающийся в магме после отделения остаточных расплавов, рассеивается в массе породы. Наибольшим содержанием урана характеризуют кислые и щелочные породы. Основные и ультраосновные содержат уран в очень малых количествах.

Известные месторождения урана, которые можно считать магматическими (Илимауссак в Гренландии, Росс-Адаме на Аляске), представляют собой массивы ультращелочных интрузий, обогащенных ураноносными аксессуориями. Промышленное значение их невелико.

В экзогенных_ процессе уран также не является типичным элементом. В кислых гранитных пегматитах кристаллы уранинита иногда встречаются совместно с минералами лития, ниобия, тантала. Они могут представлять некоторый промышленный интерес как попутные компоненты при разработке пегматитов на литий, тантало-ниобаты, слюду или керамическое сырье.

Относительно крупные концентрации урана в пегматитах образуются только в специфических условиях, определяющих быструю кристаллизацию вещества или возможность связывания урана относительно менее ПОДВИЖНЫМИ титаном и железом.

В гидротермальном процессе уран проявляется преимущественно и низкотемпературных формациях.

К скарновой формации может быть отнесено единственное в мире урановое месторождение Мери-Кетлин в Австралии, небольшое по Запасам.

Наиболее вероятной формой переноса урана в гидротермальном процессе считаются комплексные уранил-карбонатные ионы — $UO_2(CO_3)_2(H_2O)_2^{2-}$ и $[UO_2(CO_3)_3]^{4-}$.

Предполагается, что причинами разрушения этих комплексов и выделения из растворов минералов урана являются восстановительные реакции с вмещающими Юрдами или дегазация рудоносных растворов (падение давления и уменьшение растворимости CO_2).

В экзогенных процессах уран весьма подвижен в поверхностных кислородсодержащих водах. В воды он попадает как при разрушении эндогенных месторождений, так и в основном за счет размыва гранитных массивов и других пород, содержащих рассеянный уран (при размыве 1 км³ гранита в раствор может перейти до 10 тыс. т урана).

Основными процессами осаждения урана в экзогенных условиях являются процессы восстановления, ведущие к выпадению нерастворимых соединений четырехвалентного урана, а также сорбция урана органическими веществами или глинистыми минералами. Часто процессы проявляются совместно, так как органика является повременно и хорошим сорбентом, и сильным восстановителем. Среди экзогенных месторождений урана выделяют инфильтрационные, образованные путем осаждения урана из грунтовых вод, циркулирующих по ранее сформированным пористым породам, и собственно осадочные, в которых выпадение урана из раствора происхо-4 1 г одновременно с формированием осадочной породы. Инфильтрационные урановые месторождения распространены в природе значительно шире осадочных. Предполагается, что в раннем протерозое, в условиях бескислородной атмосферы уран мог мигрировать в поверхностных водах путем механического переноса минералов и образовывать россыпи. Именно таким образом трактуется большинством исследователей генезис древних ураноносных конгломератов месторождений Блайнд-Ривер (Канада) и Витватерсранд (ЮАР). В фанерозое, в 19район оз. Фром

условиях кислородного режима миграция урана могла происходить только в растворенной форме. На особенности миграции и концентрации урана в фанерозое большое влияние должны были оказывать локальные и глобальные (для различных периодов) климатически» изменения. В целом влажный (гумидный) климат благоприятствовал выносу и рассеиванию урана, а аридный (сухой) его концентрации. Наиболее крупные урановые провинции мира располагаются и» территориях США и Канады, ЮАР, Намибии, Заира, Габона и Нигера, Австралии и Аргентины (рис. 77).

Основные промышленные типы месторождений урана

В предлагаемой классификации рассматриваются лишь место-рождения, определившиеся в качестве основных промышленных типов источников уранового сырья. I. Пегматитовые месторождения:

1) формация ураноносных магматит-пегматитов.

II. Гидротермальные месторождения:

2) уран-альбититовая (уран-натровая) формация;

, 3) уран-молибденовая формация;

4) уран-титановая формация;

Рис. 78. Разрез месторождения Россинг: 1 — ураноносные пегматиты; 2 — вмещающие сланцы и мраморы

5) урановая формация (с золотом или никелем);

6) уран-битумная формация.

Инфильтрационные месторождения:

7) окислительно-восстановительного типа в песчаниках;

8) эвапорационного типа в калькретах.

/. Осадочные месторождения:

9) древние метаморфизованные россыпи;

10) сорбционные уран-фосфорные в глинах с костными остатка-ми ископаемых рыб.

Формация ураноносных магматит-пегматитов. Единственное про-мышленное месторождение этой формации в настоящее время — месторождения Россинг в Намибии. Это месторождение приурочено к крупному прогибу в архейском гранито-гнейсовом основании. Прогиб выполнен метаморфизованными породами верхнего протерозоя, представленными мраморами, графитсодержащими кристаллическими

сланцами и кварцевыми конгломератами. Месторождение представ собой блок мраморов и сланцев, обильно инъецированный сложными послойными и секущими, ветвящимися и сочленяющимися телами мелкозернистых пегматитов, сложенных калишпатом, кварцем и биотитом (рис. 78). Тонкозернистый уранинит (зерна менее 1 мм) тяготеет к зонам, обогащенным биотитом. Кроме уранинита отмечаются циркон и молибденит, не имеющие промышленного копия. В зоне окисления вблизи поверхности развиты минералы шестивалентного урана. Руды месторождения убогие, но большие свыше 50 тыс. т металла и благоприятные горнотехнические условия позволяют вести эффективную разработку открытым способом.

Урок №19.

Тема: Литий, цезий, рубидий, цирконий, гафний

ЛИТИЙ

Общие сведения

Среднее содержание лития в земной коре 0,004—0,006%, наиболее богаты им граниты (0,004—0,018%) и гранитные пегматиты. Литий — литофильный элемент, по своим геохимическим свойствам близок к натрию, а по кристаллохимическим — к магнию и железу. В магматических процессах литий рассеивается в темноцветные, породообразующих минералах (пироксенах, биотите) и накапливаются только в постмагматических процессах — пегматитовом и пневмотолито-гидротермальном, но для гидротермальных сульфидных жил он нехарактерен. В гипергенных условиях он рассеивается, и лишь изредка его повышенные количества устанавливаются в рапе соляных озер.

Известно около 150 минералов, содержащих литий, из них около 30 — собственно литиевых, преимущественно силикаты и фосфаты, но промышленное значение в качестве источников сырья имеют только несколько: сподумен — $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ (Li_2O 6—8%), петалит — $\text{Li}[\text{AlSi}_4\text{O}_{10}]$ (III) 5%), лепидолит — $\text{K}[\text{Li,Al}]_s[\text{Si}_3\text{Al}_2\text{O}_{10}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (3,2—5,7%), его железистый аналог циннвальдит — (2,9-4,5%) и амблигонит $\text{LiAl}[\text{PO}_4]$ (F,OH) (Li_2O до 10%).

Литий, относящийся к группе щелочных металлов, химически весьма активен и легко окисляется на воздухе, но менее активен, чем калий и натрий. Это очень мягкий легкий металл плотности 0,534 г/см³; он плавится при 186 °С и сохраняется в жидком в очень большом интервале температур — до 1200—1400 °С.

В настоящее время литий — один из наиболее важных для промышленности редких элементов. За последние 25—30 лет литий нашёл применение во многих отраслях промышленности и потребление его выросло в десятки раз, достигнув за рубежом 21 тыс. т (в пересчете на).

Литий используется как легирующий компонент в легких и ультралегких сплавах, применяется как жидкий теплоноситель в атомных реакторах; литий и получаемый из него тритий — главные компоненты водородных бомб. Гидрид лития служит портативным источником водорода в морском спасательном снаряжении и входит в состав ракетного топлива. Гидрат оксида лития применяется в долговечных и безвредных для окружающей среды аккумуляторах, аппаратах очистки и кондиционирования воздуха, в подводных лодках, космических кораблях и на промышленных предприятиях, а также в смазочных маслах, работающих в очень широком диапазоне температур.

В последние годы литий стал в большом количестве применяться к составу электролитов при электролизе алюминия. Весьма перспективно применение лития в новых отраслях техники — химических источниках тока, МГД-генераторах, преобразующих тепловую энергию в электрическую, в термоядерных электростанциях и т. д. Соединения лития используются в производстве некоторых видов пластмасс, синтетических каучуков и медикаментов. Красиво окрашенные разновидности сподумена — кунцит (фиолетовый) и гидденит — применяются в ювелирном деле.

Генетические типы промышленных месторождений

Гранитные пегматиты — основной источник литиевого сырья. Главным образом это сподуменовые пегматиты натриево-литиевого

i

типа, сподуменовые и сподумен-лепидолитовые, из которых добывается свыше 90% всего лития. По условиям залегания и внутреннему строению различаются две группы сподуменовых пегматитов:

1) линзо- и жиллообразные пегматитовые тела, располагающиеся складчатых областях и пространственно связанные с гранитными

плоскостями. Они характеризуются четко выраженным концентрически-зональным строением. Литиевая минерализация приурочена к центральным зонам и представлена обычно сподуменом и лепидолитом, реже петалитом;

2) плитообразные и линейно вытянутые жиллообразные пегматитные тела, осложненные небольшими раздувами и пережимами, часто ветвящиеся, но в общем выдержанные по простиранию и падению. Они приурочены к региональным тектоническим зонам и располагаются группами вблизи гранитных массивов, образуя пегматитные поля. Пегматиты этой группы не имеют четкого зонального строения, но литиевая минерализация, представленная, как правило, сподуменом, тяготеет к осевым частям тел.

Обе группы пегматитов близки по минеральному составу и сложены (в %) альбитом (30—35), микроклином (10—25), кварцем (10—25), мусковитом (3—5), сподуменом (15—25) и содержат также берилл, колумбит, танталит, касситерит, иногда лепидолит, петалит, поллуцит, которые добываются попутно. К промышленным относятся обычно руды, содержащие 0,7—1%. Вместе с минералами лития ассоциируют и попутно извлекаются берилл, тантало-ниобаты, поллуцит, касситерит, полевые шпаты (особенно ценен рудоразборный микроклин). Обогащение сподумена производится методами ручной рудоразборки (чему благоприятствуют большие размеры его кристаллов и выделений), флотации и декрипитации. И последнем случае руда нагревается до 1000 °С; сподумен, переходя в модификацию, рассыпается в порошок, который отсеивается. Крупные месторождения сподуменовых пегматитов находятся в Канаде, КНР, Бразилии, Африке.

Меньшее промышленное значение имеют петалит-лепидолитовые лепидолитовые пегматиты, в которых литиевыми минералами являются лепидолит, петалит, иногда эвкрипит (Бикита в Зимбабве, Лондондерри в Австралии).

Альбитизированные и грейзенизированные граниты с промышленным вольфрамовым или тантало-ниобиевым оруденением содержат обычно и значительное количество литиевых слюд — лепидолита или циннвальдита, которые могут добываться попутно.

Пневматолито-гидротермальные жилы с вольфрамитом и касситеритом. В экзоконтактовой оторочке кварц-топазовых жил грейзенах с вольфрамитом и

касситеритом Рудных гор (ГДР) развит циннвальдит, который в довоенные годы добывался попутно < вольфрамитом и касситеритом. Аналогичные месторождения известны в ЧССР, КНР, Португалии, но их значение в качестве источник, литиевого сырья незначительно.

Осадочные месторождения. Рапа некоторых соляных озер содержит литий наряду с такими элементами, как бор, бром, калий. В рапе оз. Сёрлс (США) содержание хлористого лития 0,02% и он добывается попутно с бором. Однако таких озер очень мало (США, КИР) и промышленное значение их невелико.

ЦЕЗИИ

Цезий характеризуется наибольшей химической активностью и минимальным потенциалом ионизации среди всех металлов.

По своим геохимическим свойствам цезий аналогичен литию сопутствует ему в процессах минералообразования. Кларк цезии 0,00037%, более высоким содержанием отличаются граниты (в сред нем 0,00055%) и особенно гранитные пегматиты.

Собственно минералы цезия редки, их известно всего три, по добывается только один — поллуцит — $Cs[AlSi_2O_6]$, содержащий до 23%. В качестве примеси (обычно незначительной, но иногда достигающей нескольких процентов) цезий часто находится в берилле, биотите, флогопите, лепидолите и куплетските (цезий-куплет-скит), из которых он также может извлекаться.

Основным источником цезиевого сырья служат гранитные пегматиты натриево-литиевого типа, содержащие поллуцит, который находится обычно в центральных зонах жил и добывается попутно с минералами лития, тантала, ниобия и бериллия.

БЕРИЛЛИЙ

Общие сведения

По данным различных исследователей, среднее содержание бериллия в земной коре 0,0002—0,0007%, наиболее высоким содержанием характеризуются кислые (0,0005%) и щелочные породы (0,004-0,007%).

Геохимические бериллий — это типично литофильный элемент. Кристаллохимические свойства бериллия сходны со свойствами, у них одинаковое координационное число по отношению к кислороду, близкие ионные радиусы и значения электроотрицательности Be^{2+} , близки также параметры комплексов $[BeF_4]^{2-}$ и $[SiO_4]^{4-}$, поэтому бериллий изоморфно замещает кремний в силикатах и алюмосиликатах. Несколько реже он замещает алюминий, находящийся в четверной координации в алюмосиликатах.

В магматическом процессе бериллий полностью рассеивается в породообразующих алюмосиликатах и собственных минералов не образует. Концентрация бериллия и появление его собственных минералов происходят в постмагматических эндогенных процессах минералообразования: пегматитовом, пневматолито-гидротермальные и геидротермальном.

В гипергенных условиях химически стойкие минералы бериллий хорошо сохраняются в коре выветривания.

Среди многочисленных (свыше 50) минералов бериллия преобладают бериллосиликаты и силикаты: берилл — $Al^IVBe_3Si_6O_{18}$, содержащий 11—14% , фенакит — $Be_2[SiO_4]$, в котором 45,5%, бертрандит — $Be_4[Si_2O_7](OH)_2$ с 39—45% , гелвин и др. Наибольшее промышленное значение имеют берилл и бертрандит, служащие основными источниками получения бериллия. Кроме того, красиво окрашенные разновидности

бериллиевых минералов используются в ювелирном деле в качестве драгоценных камней: изумруд, аквамарин, гелиодор, александрит, фенакит.

Металлический бериллий — очень хрупкий, твердый и легкий металл (плотность $1,85 \text{ г/см}^3$), стойкий против коррозии, температура плавления $1280 \text{ }^\circ\text{C}$, хорошо пропускает рентгеновские лучи. Важная специфическая особенность — малое сечение захвата нейтронов.

Бериллий обладает многими уникальными и важными для новой попки свойствами, обеспечившими ему широкое применение. Бериллий высокой чистоты применяется в атомных реакторах как замедлитель нейтронов и как конструкционный материал. Легкие и прочные сплавы бериллия с магнием и алюминием используются в пмолето и ракетостроении. Сплавы с медью (бериллиевые бронзы) необычайно упруги; обладают высокой твердостью, прочностью, хорошей электропроводностью и коррозионной стойкостью, нашли широкое применение в особо ответственных деталях машин, оружия и приборов, подвергающихся длительному напряжению и трению. Бериллиевые -сплавы не искрят при ударе и потому используется в промышленности взрывчатых веществ. Бериллий и его соединения добавляют в состав высокоэнергетических ракетных топлив (твердых и жидких) для повышения их удельной тяги и используются во многих других областях промышленности.

Производство бериллия в капиталистических странах составляет около 10 тыс. т ежегодно.

197

Генетические типы промышленных месторождений

Многочисленные месторождения бериллия представлены разнообразными генетическими типами, но основное промышленное значение в настоящее время имеют гранитные пегматиты, слюдистые флюорит-берилловые и молибденит-вольфрамит-берилловые месторождения, а также кора выветривания пегматитов.

Промышленные коренные руды обычно содержат свыше $0,02 \%$ BeO , в комплексных рудах и коре выветривания BeO может быть меньше (порядка $0,01\%$).

Гранитные редкометальные пегматиты всегда в том или ином количестве содержат берилл, как правило, в качестве попутного промышленного компонента и до сих пор являются важным источником бериллиевого сырья. Незамещенные кварц-микроклиновую пегматиты содержат крупнокристаллический (иногда гигантокристаллический), пригодный для ручной рудоразборки, берилл в центральных, крупноблоковых зонах жил, но запасы его обычно невелики.

В пегматитах натриево-литиевого типа, характеризующихся широким развитием альбитового, кварц-мусковитового и мусковит-альбитового замещающих комплексов, берилл тяготеет к участкам замещения, он здесь мелкозернистый и требует обычно флотационного обогащения, но содержание его выше и запасы больше, чем и незамещенных пегматитах. Руды в большинстве случаев комплексные: совместно с бериллом добывают тантало-ниобаты, сподумен, полевые шпаты, иногда касситерит, лепиддлит, мусковит. В ряде случаев, как, например, в сподуменовых пегматитах, берилл добывается в качестве попутного компонента.

Крупные месторождения пегматитов находятся и Канаде, США, Бразилии, КНР, Мозамбике. Кора выветривания пегматитов эффективно разрабатывается в Бразилии, на юге КНР и Экваториальной Африке.

Месторождения слюдисто-флюорит-берилловой формации образуются при воздействии пневматолито-гидротермальных растворов на породы основного и

ультраосновного состава и известняки, среди которых залегают небольшие берилл-полевошпатовые Жильные тела и линзы, отороченные закономерно сменяющимися зонами метасоматический измененных пород от флюорит-флогопитовых слюдитов до серпентинитов.

Рудными зонами являются: центральная, полевошпатовая, содержащая берилл (большей частью белый, фарфоровидный или светло-зеленый) и слюдитовая (флюорит-флогопитовая), содержащая темно-зеленый берилл (иногда изумруд), небольшое количество хризо берилла (в том числе его драгоценную разновидность—александрит) и фенакита.

Месторождения молибденит-вольфрамитовой (кварцево-жильной) формации часто содержат берилл обычно зеленоватого или зеленовато-голубого цвета (аквамарин), но самостоятельного значения он имеет и добывается попутно с молибденитом и вольфрамитом.

Весьма перспективны для промышленного освоения месторождения новых генетических типов: бериллиеносные полевошпатовые Метасоматиты, в которых бериллиевое оруденение представлено Минералами группы гельвина (гентгельвин) и флюорит-бертрандит-фенакитовые месторождения, где основные рудные минералы — Сортрандит, фенакит, эвклаз.

ЦИРКОНИЙ И ГАФНИЙ

Общие сведения

Среднее содержание циркония в земной коре 0,016—0,017%, гафния 0,0003%; наиболее обогащены этими элементами сиениты (в г родием 0,031% циркония и 0,011% гафния) и нефелиновые сиениты (0,068% циркония).

На ранних этапах магматической кристаллизации цирконий рас-* сбивается, входя в состав породообразующих минералов и акцессорных минералов (пироксен, амфибол) и акцессорных минералов (сфен, магнетит). Цирконий накапливается в кислых и особенно щелочных породах. Поведение циркония в постмагматических процессах еще недостаточно изучено. При выветривании пород минералы: циркония, весьма стойкие к химическим и механическим воздействиям, хорошо сохраняются и накапливаются в россыпях.

Цирконий — типично литофильный элемент. Все его минералы, которых в настоящее время насчитывается 27, представлены силикатами и оксидами. Промышленное значение имеют циркон — YfHfO_5 (33—67%), содержащий обычно 60—67% ZrO_2 и 0,3—4,5% HfO_2 , и бадделит - ZrO_2 (ZrO_2 95-99%, HfO_2 1—2,5%).

Гафний, являющийся геохимическим спутником циркония, самостоятельных минералов не образует.

Цирконий — ковкий, хорошо поддающийся обработке металл, сохраняющий свои, механические свойства при нагревании до 550 °C, (СТОК к воздействию кислотных и щелочных сред. Характеризуется IDU малым эффективным сечением поглощения тепловых нейтронов.

Металлический цирконий применяется в металлургической промышленности в качестве легирующей примеси в специальных сортах . сталей, повышающей их вязкость, сопротивляемость, ударам (в броневых плитах), теплоустойчивость и коррозионную стойкость и улучшающей их механические свойства; в химическом машиностроении, как материал , стойкий против коррозии при изготовлении деталей и покрытий, работающих в агрессивных средах. Цирконий высокой частоты (без примеси гафния) применяется в атомных реакторах и качестве защитной оболочки ядерного

горючего и конструкционного материала. Очень широко используется цирконий в виде минерала циркона и бадделеита (цирконовый и бадделеитовый концентраты) в литейном производстве, как формовочный материал керамической промышленности и в огнеупорах.

Гафний, близкий к цирконию по основным химическим свойствам, обычно от циркония не отделяется и применяется совместно с ним, за исключением атомной техники, где гафний может использоваться самостоятельно в защитных и регулирующих устройствах, так как в противоположность цирконию характеризуется высоким сечением захвата тепловых нейтронов.

Генетические типы промышленных месторождений

Цирконий накапливается в остаточных дериватах магм (в гранитоидных и щелочных породах) и постмагматических метасоматических образованиях. Эндеогенные месторождения циркония представлены гранитными пегматитами, нефелиновыми сиенитами, альбититами и карбонатитами, но промышленное значение их как источника циркониевого сырья невелико и минералы циркона (бадделеит, малакон, циртолит, циркон) добываются только попутно с другими полезными компонентами (пироксеном, колумбитом, гатчеттолитом и др.)

Основное промышленное значение имеют россыпи, главным образом прибрежно-морские современные (Австралия, Индия) и древние погребенные (СССР) и, кроме того, элювиально-делювиальные.

Современные морские россыпи приурочены к узкой полосе прибрежных песков, перебиваемых прибоем, и протягиваются на сотни километров (Австралия, Индия, Шри-Ланка, США). Циркон и сопровождающие его ильменит, лейкоксен, рутил, монацит, магнетит иногда касситерит представлены в виде очень мелких окатанных зерен. Содержание шлиховых минералов в песках колеблется от 2-до 50%, а в зоне прибоя 90% (Австралия). Колеблется соотношение между минералами титана и циркония. Все прибрежно-морские россыпи циркона комплексные: одновременно с ним добываются ильменит, иногда рутил, монацит, касситерит, а также кварцевый некий может использоваться в стекольной промышленности. В ряде месторождений циркон сам является попутным компонентом извлекается при добыче ильменита.

Древние морские россыпи по геологическому строению, минеральному составу и содержанию полезных компонентов аналогичны современным.

Минералы циркония (циркон, бадделеит) в значительном количестве могут накапливаться и в элювиально-делювиальных россыпях, запасы которых исчисляются миллионами тонн полезных минералов (Бразилия), но имеют второстепенное промышленное значение.

Гафний добывается из циркона, в котором он содержится постоянно в виде незначительной примеси (в среднем около 1%), выщелачивается при химико-металлургическом процессе получения циркония.

Урок №20.

Тема: Бериллий, тантал

Тантал

В месторождениях оба эти элемента встречаются вместе. Известно свыше 120 минералов. Основное промышленное значение имеют следующие:

- Колумбит (содержание Nb_2O_5 до 65%, Ta_2O_5 до 77%)
- Никролит (содержание Nb_2O_5 до 7%, Ta_2O_5 до 77%)
- Пироклор (содержание Nb_2O_5 до 65%, Ta_2O_5 до 5%)
- Лапалит (содержание Nb_2O_5 до 11%,)

Оба эти элемента близкий по химическому свойствам, в чистом виде являются твердыми, тугоплавкими, но при этом пластичными, хорошо поддаются механической обработке; химически устойчивы-это свойство лучше чем у платины. Добавки тантала и ниобия улучшают качество стали.

Применяются в ракетно- и авиостроении, в атомной энергетике, в радиоэлектронике. Тантал также используют в медицине, при изготовлении протезов.

Генетические типы:

- 1) Нефелиновые сиениты с лапоритами-основной рудный минерал лапорит. Кроме него руды содержат нефелин, полевой шпат, эгирин, цеолиты, биотит, сфен и магнетит.
- 2) Редкометалльные гранитные пегматиты-руды тяготеют к участкам развития альбитового, кварц-мусковитового и кварц-лепидолитового комплекса. Такие месторождения распространяются в Канаде, Китае, Бразилии, Зимбабве.
- 3) Карбонатиты - отличаются небольшими масштабами и высоким содержанием ниобия. В их формирование выделяются 4 стадии: две первые образуются при температуре от 630 до 420 $^{\circ}C$, здесь образуются карбонатиты кальцитового состава. В последние две стадии температура 420-190 $^{\circ}C$, образуются кальцитовые, доломитовые карбонатиты. Первая стадия безрудная. Со второй связаны фосфатные и железистые руды. Для поздних стадии характерны редкоземельные руды.

Богатым содержанием отличаются 2 типа руд: пироклор содержащие кальцитовые карбонатиты и гатчетолит, содержащий карбонатит. Первый тип руд большей частью

мелкозернисты, среднее содержание Ne_2O_5 около 0,5%, реже до 3-4% (месторождения Бразилии). Второй тип руд (гатчетолит) – содержание Ta_2O_5 до 0,02%.

4) Остаточные месторождения и россыпи – так как эти элементы химически устойчивы, они хорошо сохраняются в коре выветривания. Такие месторождения распространены в коре выветривания пегматитов Бразилии и Зимбабве, а также в колумбитоносных гранитах в Нигерии. Промышленное значение имеют и древние, и современные коры выветривания. При размыве коры выветривания могут образоваться аллювиальные россыпи (Заир).

5) Альбитизированные и грейзенизированные граниты – приурочены к куполообразным выступам, к зонам эндоконтактов и тектонически ослабленным зонам. Руды представляют собой средне- и крупнозернистый гранит. По геохимическим и парагенетическим особенностям среди них выделяют месторождения субщелочных и щелочных гранитоидов.

Бериллий.

Использование. Бериллий используется в атомной энергетике (в качестве источника нейтронов, в качестве тормоза и отражателя в их реакторах), благодаря его низкой плотности, высокой твердости, высокой упругости и теплоемкости, а также способности связывать тепловые нейтроны. высокоэнергетическое ракетное топливо, как твердый материал), в производстве трехствольных сплавов, в бериллиевых связях, в гигроскопических системах управления и наведения. Некоторые бериллиевые минералы являются драгоценными камнями первого класса.

Геохимия и минералогия. Содержание бериллия – $3,8 \cdot 10^{-4}\%$. Его высокое содержание характерно для кислых, средних и щелочных пород. Коэффициент концентрации составляет 400. Известно более 50 бериллиевых минералов: силикаты (50%), фосфаты (25%), оксиды и бораты. Основные показатели производства: бериллий $\text{Be} \cdot \text{Al} \cdot \text{Si}_2\text{O}_7$ (10-12% BeO), фенацит $\text{Be}_2[\text{SiO}_4]$ (40-44%), бертрандит $\text{Be}_4[\text{Si}_2\text{O}_7]_2$ (0H) (40-42%), хризобериллий $\text{Al} \cdot \text{Be} \cdot \text{O}$ (18-20%). Драгоценные камни включают следующие разновидности бериллия: – изумруд (зеленый), аквамарин (морская волна), гелиодор (светло-желтый), воробевит (розовый), а также хризоберилл – александрит (цвет при дневном свете) зеленый (меняется с искусственным светом – фиолетовый).

Типы и условия руды. Бериллий (запасы 75%) и фенацит-бериллитовая руда играют ключевую роль. Условное содержание BeO в корневой руде составляет 0,02%, а в комплексной руде и закалке – 0,01%.

Запасы и производство. Зарубежные запасы Be достигают 1 миллиона тонн на сегодняшний день. Более половины из них являются мелкозернистой рудой (0,04-0,06% BeO).

Уникальный Томас Ридж (США), запасы BeO на месторождении - 200 тысяч тонн. Большие запасы составляют 40-100 тыс. Тонн. В крупнозернистой руде - 0,5% BeO , в шлаке - 0,04-0,1% BeO . Мировое производство бериллиевого концентрата (10% VeO) (кроме СНГ) составляет 100 тыс. Тонн, а производство бериллия - около 0,8 тыс. Тонн. Стоимость концентрата VeO в 2000 году составляла около 11 000 долл. США / т, а металлического бериллия - 500 долл. США / кг.

В Казахстане разведаны два месторождения бериллия - Нураталы (бериллий) в Центральном Казахстане и Кара-Жал (Челвин, хризоберилл) в Шыгысе. В малых формах запасы бериллия рассматриваются как связанный компонент на месторождениях молибдена-вольфрама и тантала.

Среди них Акшатау, Северный Конырат, Кара-Оба и другие. Вы можете сказать, депозиты. Месторождения тантала состоят из бериллиевого редкометалльного гранитного пегматита (Калба): Ахметкино, Медведка, Кайыртапкан, Белогорск, Бакен, Верхний Баймур, Юбилейное, а также Кожамкуль (Степановский филиал), Желке и др. депозиты.

Типы промышленных полей

Все месторождения бериллия являются эндогенными. Коммерчески значимыми являются месторождения пегматитовых, гидротермальных, плутоногенных и вулканогенных месторождений. Месторождения пегматитов находятся в первую очередь в запасах бериллия (исключая СНГ) (более 75%), щелочных метатомитов (около 12%) в последние годы, а третьи и четвертые - в гидротермальных (6), соответственно. %) и графеновые (5%) поля. Но при производстве их расположение отличается (%): гидротермальное - 70, пегматит - 17, графен - 13 и метасоматоз до настоящего времени.

Урок №21.

Тема: Ниобий, индий, галлий

Ниобий накапливаются на поздних стадиях магматических высокотемпературных постмагматических процессов (пегматитовом и пневмотолито-гидротермальном). В месторождениях оба элемента встречаются совместно, образуя общие минералы, но соотношение TaO и Nb_2O_5 колеблется в очень широких пределах— от IS: 1 до 1: 1000, что позволяет выделять руды танталовые, танталониобиевые и ниобиевые. За рубежом добываются руды, содержащие 0,2—0,5%. (на некоторых месторождениях, до 3,5—4,5%) Nb_2O_5 . Танталовые руды значительно беднее и содержат 0,02—0,05% TaO .

Известно свыше 120 минералов тантала и ниобия, но основное промышленное значение имеют минералы группы колумбита — $(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{Nb}, \text{Ta})$ (колумбит, колумбит-танталит, танталит), группы: пироклора — $(\text{Na}, \text{Ca})_2(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_6(\text{OH}, \text{F})$ (пироклор, гатчеттолит, микролит) и лопарит— $(\text{Na}, \text{Ce}, \text{Ca})(\text{Ti}, \text{Nb})\text{O}_3$. Содержание пятиоксида

ниобия и пятиоксида тантала в отдельности в минералах группы колумбита и группы пироклора колеблется от 0,2 до 78— 100%, но сумма их обычно находится в пределах 77—80%. в минералах группы колумбита и 50—80% в минералах группы пироклора. Более постоянным составом характеризуется лопарит.

Тантал и ниобий очень близки по своим химическим свойствам. В чистом виде это очень тугоплавкие, твердые, но пластичные металлы, хорошо поддающиеся механической обработке и сохраняющие свою прочность при высоких температурах. Они характеризуются исключительной химической стойкостью, приближаясь в этом отношении к благородным металлам, а в некоторых случаях даже превосходят платину. Кроме того, тантал обладает способностью срастаться без осложнений с живой тканью человеческого организма. Карбид тантала является наиболее тугоплавким из всех известных веществ (температура плавления 4220 °С). Легирующие добавки ниобия улучшают качество стали. Эти свойства обеспечивают широкое применение обоих элементов в различных областях промышленности, но, к сожалению, в природе ниобий и особенно тантал встречаются редко: в настоящее время в зарубежных странах тантал, является одним из наиболее дефицитных металлов.

Они- применяются в ракетостроении, авиационном, атомной энергетике, радиоэлектронике, химическом машиностроении, строительстве. Основное количество ниобия используется в качестве легирующих добавок в жаропрочных и нержавеющей сталях, а также низколегированных сталях для магистральных нефте- и газопроводов большого диаметра, автомобилестроения, тяжелого оборудования, машин, структурных элементов зданий и мостов и т. д. Общее потребление ниобия в капиталистических странах в 1978 г. оценивалось примерно в около 11000 т, а его ресурсы — в 620 млн. т. .:

Основное количество тантала используется для производства электролитических конденсаторов, главным образом для военной техники, и в последнее время интенсивно растет его применение в производстве сверхтвердых сплавов. Общее потребление тантала в капиталистических странах в 1978 г. оценивалось в 1000—1200 т, а ресурсы приблизительно в 100 тыс. т.

Цены на ниобиевые концентраты на мировом рынке в последние годы резко возросли и в 1978 г. составили 5,6 долл. за 1 кг в пироклоровом концентрате. Еще более возросли цены на танталовые концентраты, достигшие в 1979 г. 220 долл. за 1 кг в танталитовом концентрате.

Генетические типы промышленных месторождений

Главнейшие промышленные месторождения ниобия и тантала представлены несколькими генетическими типами, основные из них следующие: 1) нефелиновые сиениты с лопаритом, 2) редкометальный пегматиты, 3) Альбитизированные и грейзенизированные граниты (апограниты), 4) редкометальные карбонатиты, 5) коры

выветривания колумбитоносных гранитов и пегматитов, б) элювиально-делювиальные и аллювиальные россыпи.

Нефелиновые сиениты с лопаритом представлены Ловозерским месторождением. Это большой массив стратифицированных нефелиновых сиенитов воронкообразной, в плане округлой формы. Он прорывает глубокометаморфизованные породы докембрия и сформировался в несколько фаз. Промышленное редкометальное оруденение связано со второй фазой — образованием лопаритоносного комплекса пород, состоящего из ритмично чередующихся и повторяющихся многократно пачек пород, в каждую из которых входит от двух до пяти горизонтов разновидностей нефелиновых сиенитов: фойяитов, луявритов, уртитов, ийолитов. Эти разновидности отличаются друг от друга количественными соотношениями полевых шпатов, нефелина, содалита и темноцветных компонентов. Каждый горизонт хорошо выдерживается по всему месторождению.

Основной рудный минерал — лопарит образует вкрапленность во всех породах, но его промышленные скопления связаны с определенными горизонтами мельтейгитов, включающими породы двух смежных пачек: нижний горизонт вышележащей пачки (луявриты) и верхний горизонт нижележащей пачки (фойяиты). Кроме лопарита руды содержат нефелин, калий-натровый полевой шпат, эгирин, щелочной амфибол, содалит, цеолиты, апатит, эвдиалит, рамзаит, мурманит-ломоносовит, биотит, сфен, магнетит. На глубоких горизонтах появляются ильменит, пироксен, сульфиды.

Редкометальные гранитные пегматиты. Тантало-ниобаты часто наблюдаются в гранитных пегматитах, но промышленные скопления их находятся только в пегматитах натриево-литиевого типа, в которых широко развиты процессы высокотемпературного замещения — альбитизация и грейзенизация. Тантало-ниобаты (колумбит, танталит, иногда микролит) тяготеют преимущественно к участкам развития альбитового, кварц-мусковитового и кварц-лепидолитового замещающих комплексов, где их содержание достигает промышленных значений. Для гранитных пегматитов, особенно на поздних стадиях их формирования, характерно обогащение танталом, который, в этом типе месторождений нередко преобладает над ниобием в отношении Nd_2O_5 в рудах различных месторождений варьирует от 6 : 1 до 1 : 10. Минеральный состав пегматитов натриево-литиевого типа богат и разнообразен: помимо основных породообразующих минералов — кварца, микроклина, альбита и мусковита — в них в переменных количествах находятся минералы группы колумбита (колумбит, колумбит-танталит, танталит), иногда микролит и тапиолит и другие тантало-ниобаты, сподумен, лепидолит, касситерит, берилл, апатит и ряд других, менее распространенных минералов. Руды комплексные: из них могут рентабельно извлекаться тантал, ниобий, литий, бериллий, олово, рубидий, цезий, а также породообразующие минералы — полевые шпаты, пригодные для керамической промышленности, кварц и слюда.

Крупные месторождения пегматитов интенсивно эксплуатируются в Канаде, Бразилии, КНР, Зимбабве. До недавнего времени редко-метальные гранитные пегматиты служили

основным источником тантала, ниобия, бериллия, лития, но сейчас их значение уменьшилось в связи с промышленным освоением более крупных источников сырья этих элементов.

ГАЛЛИЙ

Среднее содержание галлия в земной коре 0,0015%.

Химические свойства галлия близки к свойствам алюминия, фисталлохимические — к свойствам алюминия, железа, - цинка. Поэтому галлий полностью рассеивается в многочисленных породообразующих минералах разного генезиса, и пока известен только один минерал галлия — галлит — Ga_2S_3 , найденный в уникальных месторождениях Намибии (Тсумеб и Кипуши). Минералов, содержащих повышенное количество галлия, немного. К ним относятся: германит (до 1,8%), сфалерит (до 0,1%), нефелин (до 0,1%), сподумен до 0,07%), мусковит (до 0,02%), лепидолит (до 0,03%), натролит, полевые шпаты (до 0,01%). В этих минералах галлии изоморфно мещает алюминий, цинк, железо.

Галлий широко распространен во всех горных породах, но вследствие своих геохимических свойств, повсюду содержание его близко к кларковому и незначительное обогащение отмечается только в грейзенах (до 70 г/т), ГАЛЛИЙ

Среднее содержание галлия в земной коре 0,0015%.

Химические свойства галлия близки к свойствам алюминия, фисталлохимические — к свойствам алюминия, железа, - цинка. Поэтому галлий полностью рассеивается в многочисленных породообразующих минералах разного генезиса, и пока известен только один минерал галлия — галлит — Ga_2S_3 , найденный в уникальных месторождениях Намибии (Тсумеб и Кипуши). Минералов, содержащих повышенное количество галлия, немного. К ним относятся: германит (до 1,8%), сфалерит (до 0,1%), нефелин (до 0,1%), сподумен до 0,07%), мусковит (до 0,02%), лепидолит (до 0,03%), натролит, полевые шпаты (до 0,01%). В этих минералах галлии изоморфно мещает алюминий, цинк, железо.

Галлий широко распространен во всех горных породах, но вследствие своих геохимических свойств, повсюду содержание его близко к кларковому и незначительное обогащение отмечается только в грейзенах (до 70 г/т), пегматитах натриево-литиевого типа (до

75 г/т), бокситах (20—100 г/т). Зола каменных углей содержат до 100—500 г/т галлия.

Галлий — металл серебристо-белого цвета с синеватым оттенком. Обладает низкой температурой плавления (29,79 °С) и в жидком виде находится в очень широком

интервале температур — до 2070 °С. При охлаждении галлий расширяется, подобно висмуту и воде. Соединения галлия (арсенид и фосфид) характеризуются свойствами полупроводников. С металлами галлий образует амальгамы.

Соединения галлия (арсенид и фосфид) применяются в полупроводниковой технике и при изготовлении солнечных батарей. Выпуск галлия за рубежом в 1977 г. ориентировочно оценивался в 15—20 т. Вся потребность промышленности удовлетворяется за счет попутного; извлечения при переработке алюминиевого и цинкового сырья — бокситов и сфалеритовых концентратов.

Промышленные запасы галлия за рубежом оцениваются в 10 тыс. т.

ИНДИЙ

По данным различных исследователей, кларк индия от 0,000 0111 /до 0,000 025%. По важнейшим геохимическим свойствам индий близок к олову, кадмию и железу, несколько менее сходен с цинком и свинцом.

Содержание индия в минералах очень низкое и значительной величины достигает лишь в нескольких из них: касситерите (до 0,05%), деревянистом касситерите (0,58—1,35%), сфалерите (до 0,81%), халькопирите (до 0,015%), станнине (до 0,15%), буланжерите (до 0,17%). Собственные минералы индия установлены только недавно. Это самородный индий, гидроксид и два сульфида InFe_2S_4 и InCuS_2 . Все они очень редки и практического значения не имеют.

Индий — серебристо-белый металл, мягкий, пластичный, устойчивый против коррозии, с низкой температурой плавления (156°С) и большим интервалом жидкого состояния.

Индий применяется при производстве полупроводниковых материалов — арсениде, антимониде и фосфиде индия, как акцепторная примесь в германии, в качестве прокладок в вакуумных приборах, для покрытия подшипников в самолетах. Сплавы индия с серебром, медью, кадмием, цинком применяются в ювелирном деле и зубоорудной технике.

Индий обнаружен в месторождениях многих генетических типов, причем повышенные концентрации его приурочены к оловосодержащим рудам гидротермальных касситерит-силикатно-сульфидных месторождений. Промышленным источником индийсодержащего сырья являются свинцово-цинковые и оловянные руды, из которых индий извлекается попутно при металлургическом переделе концентратом на основные металлы.

Общие запасы индия за рубежом оцениваются в 3400 т, в том числе промышленных 1300—1800 т. Выпуск металла в последнее время за рубежом колебался в пределах 45—52 т ежегодно. 75 г/т), бокситах (20—100 г/т). Золы каменных углей содержат до 100—500 г/т галлия.

Галлий — металл серебристо-белого цвета с синеватым оттенком. Обладает низкой температурой плавления (29,79 °С) и в жидком виде находится в очень широком интервале температур — до 2070 °С. При охлаждении галлий расширяется, подобно висмуту и воде. Соединения галлия (арсенид и фосфид) характеризуются свойствами полупроводников. С металлами галлий образует амальгамы.

Соединения галлия (арсенид и фосфид) применяются в полупроводниковой технике и при изготовлении солнечных батарей. Выпуск галлия за рубежом в 1977 г. ориентировочно оценивался в 15—20 т. Вся потребность промышленности удовлетворяется за счет попутного; извлечения при переработке алюминиевого и цинкового сырья — бокситов и сфалеритовых концентратов.

Промышленные запасы галлия за рубежом оцениваются в | 10 тыс. т.

ИНДИЙ

По данным различных исследователей, кларк индия от 0,000 0111 /до 0,000 025%. По важнейшим геохимическим свойствам индий близок к олову, кадмию и железу, несколько менее сходен с цинком и свинцом.

Содержание индия в минералах очень низкое и значительной величины достигает лишь в нескольких из них: касситерите (до 0,05%), деревянистом касситерите (0,58—1,35%), сфалерите (до 0,81%), халькопирите (до 0,015%), станнине (до 0,15%), буланжерите (до 0,17%). Собственные минералы индия установлены только недавно. Это самородный индий, гидроксид и два сульфида InFe_2S_4 и InCuS_2 . Все они очень редки и практического значения не имеют.

Индий — серебристо-белый металл, мягкий, пластичный, устойчивый против коррозии, с низкой температурой плавления (156°С) и •большим интервалом жидкого состояния.

Индий применяется при производстве полупроводниковых материалов — арсениде, антимониде и фосфиде индия, как акцепторная примесь в германии, в качестве прокладок в вакуумных приборах, для покрытия подшипников в самолетах. Сплавы индия с серебром, медью, кадмием, цинком применяются в ювелирном деле и зубо-врачебной технике.

Индий обнаружен в месторождениях многих генетических типов, причем повышенные концентрации его приурочены к оловосодержащим рудам гидротермальных касситерит-силикатно-сульфидных месторождений. Промышленным источником индийсодержащего сырья являются свинцово-цинковые и оловянные руды, из которых индий извлекается попутно при металлургическом переделе концентратом на основные металлы.

Общие запасы индия за рубежом оцениваются в 3400 т, в том числе промышленных 1300—1800 т. Выпуск металла в последнем! время за рубежом колебался в пределах 45—52 т ежегодно.

Урок №22

Тема: Кадмий, рений, селен, теллур

Селен и Теллур.

Селен-плотность около $4,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления- 220 C° . Основные минералы:

- клаустолит PbSe (28 % Se)
- клокманит CuSe (55% Se)
- феррсилит FeSe_2 (до 72% Se)
- тиманнит HgSe (24,8% Se)

Теллур- плотность около $6,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления- 450 C° . Основные минералы:

- калаверит AuTe (33-36% Te)
- гессит AgTe (36-38% Te)
- тетрадиллит $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ (32-36 % Te)
- алтаит PbTe (37-38,5% Te)

По химическим свойствам эти элементы близкий к сере, они обычно входят в состав сульфидов; в них селен замещает серу, теллур же находится в виде микроскопических включений. В промышленности эти элементы извлекаются из медно-никелевых, свинцово-цинковых, медных руд.

Применяются в нефтеперерабатывающей промышленности в качестве катализатора, в металлургии в виде легирующих добавок, а также в радио- и электротехнике.

Основным поставщиком этих элементов является США (до 50% всех мировых запасов). Также они встречаются в Канаде, Финляндии и Японии , где добываются в качестве полезных компонентов различных металлических руд.

Теллур не образует собственных генетических типов, у селена генетические типы редки, поэтому оба добываются попутно, если их содержание превышает $2 \cdot 10^{-3}\%$. В небольшом количестве встречаются в гидротермальных месторождениях вместе с золотом, с примесью серебра и ртути.

РЕНИЙ

Рений чрезвычайно редкий элемент: его среднее содержание в земной коре оценено лишь приблизительно и, по данным разных исследователей, колеблется от 0,000 0001 до 0,000 0007 % -

Геохимически рений сходен с молибденом и является его постоянным спутником в эндогенных процессах. Рений концентрируется в гидротермальных молибденовых месторождениях, и его наиболее высокое содержание характерно для медного и медно-молибденового типов месторождений; значительно беднее им высокотемпературные кварц-молибден-вольфрамитовые, грейзеновые и пегматитовые месторождения. В экзогенных условиях при разложении молибденита, особенно в условиях влажного климата, рений образует хорошо растворимые соединения, выносятся из месторождений и рассеивается.

Известен только один собственно рениевый минерал — джезказганит — Si (Re Mo) S_4 , обнаруженный в медно-молибденовых рудах Джезказганского месторождения, и около 50 минералов, содержащих рений, в количестве, как правило, не превышающем 0,001%. Наиболее высоким содержанием отличаются пирит (до 0,002%), халькопирит (до 0,002%) и минералы молибдена: молибденит (до 1,88%), ловеллит (до 0,017%) и вульфенит (до 0,001%).

Рений — тяжелый тугоплавкий, стойкий к коррозии металл, окисляющийся только при температуре выше 1000 °С. Рений был предсказан Д. И. Менделеевым в 1875 г., но открыт только в 1925 г. и уже нашел важное применение в промышленности. Основная область потребления рения — нефтехимическая промышленность, где он используется в катализаторах при крекинге нефти. Добавки рения в сплавы увеличивают их твердость, пластичность, жаропрочность и коррозионную стойкость. Ренийсодержащие сплавы применяются в термopарах, электроконтактах, нагревательных элементах, » ответственной аппаратуре, используемой в атомной энергетике, авиа- и ракетостроении и военной технике. Широкому использованию рения препятствуют его редкая встречаемость в природе, сложность извлечения из сырья и, как следствие, дороговизна (1 кг рения I) США стоит выше 700 долл.).

Весь рений получается попутно при переработке медных и медно-молибденовых концентратов, в которых содержание рения колеблется от 0,0001% (Флеккефьорд, Норвегия) до 0,3% (Ставангер, Норвегия). Добыча рения за рубежом в 1975—1978 гг. колебалась от 3,4 до 5 т ежегодно.

Урок №23.

Тема: 3 Раздел Неметаллические полезные ископаемые

Общие сведения

Неметаллические ископаемые — обширная группа полезных ископаемых, из которых в основном не извлекают металлов и которые не относят к углеводородным и углеродным видам минерального топлива. Из этих видов сырья получают многие виды элементов Неметаллов (сера, фосфор, хлор и др.), соединения металлов с другими элементами (соединения калия, натрия, бария, стронция и др.), в небольшом количестве и ряд металлов (калий, магний, натрий, стронций и др.). Из неметаллического сырья получают некоторые виды топлива (соединения

бора как ракетное топливо, соединения фтора и т. д.). К неметаллам наряду с сырьем, из которого извлекают элементы и их соединения, относят также месторождения промышленных минералов и промышленных горных пород. Промышленностью используются особые физические, физико-химические, физико-механические свойства минералов и горных пород или особенности их химического состава. Например, при применении графита используют ряд его ценных свойств, в том числе высокую огнеупорность (3850 °С), электропроводность и др., в бентонитовых глинах — их высокие сорбирующие свойства, в каолине — высокую белизну и другие особенности. Для горных пород большое значение имеют их механическая прочность, морозостойкость, монолитность (блочность), а для других — декоративность (облицовочные камни), электротехнические свойства (слюда, асбесты и др.).

В настоящее время стоимость извлекаемых из недр неметаллических полезных ископаемых существенно превышает стоимость металлического сырья. Большое внимание уделяется комплексному использованию сырья. Например, при добыче и переработке руд барита попутно извлекают соединения серы, ряд цветных металлов; при переработке порошковатых элювиальных тальковых руд — тальк SiO_2 тонкодисперсный кварц (маршаллит); при переработке апатита наряду с соединениями фосфора получают фтор и т. д.

Урок №24.

Тема: Месторождения химического сырья. Фосфор, сера, мел

Месторождение химического сырья и минеральных удобрений.

К ним относятся месторождения фосфора, серы, солей, бора, стронция, а так же месторождение минеральных пигментов и амфиболовых асбестов.

Фосфор, Р. Общие сведения.

Кларк $9,3 \cdot 10^{-2}\%$. Наиболее им богаты щелочные, основные и средние породы. Среднее содержание апатита в щелочных породах $1,5 \cdot 2,5\%$; в основных — 1% ; в кислых — $0,5\%$.

С фосфором ассоциируют стронции, редкие земли, уран, фтор, хлор, ванадий. Некоторые из них иногда попутно извлекаются. Важнейшие минералы фосфора: $Ca_{10}(PO_4)_6 \cdot F_2$ - фтороapatит – содержание P_2O_5 - 42,3%, фосфора до 3,8%, это главный промышленный минерал:

- хлорапатит
- гидрасилапатит
- карбонатапатит

В меньшей мере распространены — вавелит, меллисит, крадалит, франковит, вивьонит, истренгит, лейкофосфат, фосфорсевенит.

Фосфоритами называют скрытокристаллические образования фосфора экзогенного происхождения, представленными разновидностями апатита, кварца, глауконита, карбонатов и глинистых минералов. В фосфоритах часто повышенное содержание урана.

Применяется в качестве минеральных удобрений; соединения фосфора - при производстве моющих средств; фосфорной кислоты - в металлургии небольшое количество фосфора вводится в различные сплавы, это придает им дополнительный объем, что помогает при литье готовой формы; также применяется при изготовлении спичек и различных кормов. Главный производитель Россия, США, Казахстан, ЮАР, Марокко, Тунис, Сенегал, Сирия.

Генетические типы:

- 1) Магматический - к нему относятся месторождения нефелин-apatитовые и редкометально-нефелин-apatитовых в щелочных породах; апатит-магнетитовые, апатитовые в габбро-сиенитах. Например: в щелочных – Хибинский массив и Лавозерское месторождение. Формы тел: крупные линза- и пластообразные, реже жилко- и гнездообразные тела. Например: апатит-магнетитовые – Керунавара в Швеции (PO_4 – 33%)
- 2) Карбонатитовые месторождения. Форма тел – сложные линзы, штоки, гнезда. Например: жилкообразные залежи: Кавдорское месторождение; ряд месторождений Уганды и Бразилии.

Первые два типа наиболее крупные источники фосфора.

- 3) Контактново-метасоматические – являются второстепенными, фосфор здесь извлекается попутно с другими компонентами: месторождения Канды; Алданская группа; месторождение горы высокой на Урале. Форма тел - штоки, сложные линзы и гнезда.
- 4) Гидратермальный - имеет небольшое значение. Форма тел - гнезда, штоки, жилы: Китай, Испания.
- 5) Месторождения выветривания - остаточные и инфильтрационные скопления фосфоритов, небольшие по масштабу(Ашинское на Урале; Телевское, Белкинское на Алтае). Форма тел – мелкие, сложные линзы.
- 6) Осадочные – разделяются на наземные и морские. Наземные – это скопления костей животных. К ним относятся формации гуана, связаны с образованием экскрементов птиц: Перу, Чили, Южный Китай. Мощность до десятков метров. Морские разделяются на ископаемые и современные. Ископаемые делятся на жилваковые, ракушечно-детритовый, зернистый и микрозернистый.
- 7) Вулканогенно-осадочные – представлены железисто-фосфорными рудами. Содержание PO_4 – 90%. Железо представлено магнетитом и гематитом.

- 8) Метаморфизованные месторождения делятся на месторождение регионального и контактового метаморфизма. Например: Каратауский бассейн – это в Чулактау и Тесиктас.

Урок №25.

Тема: Стронций, соли, минеральные пигменты

Соли

Общие сведения

Основные минералы, из которых получают рассматриваемые элементы или их соединения или которые представляют собой объект потребления, следующие: галит — NaCl , сильвин — KCl , бишофит —

$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, карналлит- $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Приведенные минералы формируют горные породы. Например, из галита слагается такая горная порода, как каменная соль; сульфаты калия и магния — лангбейнит, каинит, полигалит — входят в состав твердой соли; минерал гипс слагает горную породу одноименного названия, аналогичное происходит и с ангидритом.

Применение в промышленности

Рассматриваемые виды минерального сырья применяются довольно широко: так, галит используется для получения более 1500 продуктов. Из галита путем электролиза получают элементный натрий, который используется в качестве теплоносителя, в том числе и в атомных реакторах, в клапанах авиационных двигателей и др.; металлический натрий применяют в качестве активного восстановителя в производстве циркония и других, редких металлов

Галит используют при получении моющих средств, красок, при выделке кож, в лесотехнической, нефтяной промышленности, производстве пластмасс, в холодильном деле, для понижения температуры таяния льда (применяют при оледенении дорог) и т. д.

Генетические типы промышленных месторождений

Среди месторождений рассматриваемых видов сырья можно выделить следующие типы: 1) магматические, относятся формации высококалийных щелочных пород, включая апатит-нефелиновую, редкометально-apatит-нефелиновую, нефелиновую, лейцитовых и псевдолейцитовых пород, а также формацию карбонатно-содовых лав. Примером месторождений карбонатно-содовых лав служит вулкан Олдогень-Ленга (Олдоньи Ленгаи) в Танзании

2) К гидротермальным месторождениям калия относятся алунитовые. При переработке алунита на алюминий попутно можно извлекать калий. Пример месторождений — Загликское месторождение в Азербайджане. Алунитовые породы — характерные представители вторичных кварцитов, в том числе и молодого возраста. Встречаются они и в ассоциации с опалитами, нередко содержащими самородную серу

3. К месторождениям, представленным современными осадками, относятся такие, залежи полезных компонентов которых представлены свежим, еще не перешедшим в горную породу осадком. Это преимущественно озерные и лагунные отложения свежевывапавших солей, например новосадка поваренной соли, соды и других солей. К этому же типу относятся и формации солей «сухих» и подпесочных озер. Пример — месторождение сульфатов натрия и магния Джаксы-Клыч

4) бассейноводные и подземно-водные, Примеры месторождений этого типа — моря, океаны, лагуны, озера. В настоящее время из морской воды извлекают большое количество магния, хлористого натрия и ряд других компонентов. В Красном море установлена высокая концентрация калия, который извлекается из морской воды в значительном количестве. Из рассолов многочисленных озер добываются поваренная соль, сульфаты натрия, сода и ряд других полезных компонентов. В некоторых случаях объектом добычи является донная рапа. Например, в заливе Кара-Богаз-Гол ведется добыча богатой натрием, магнием и сульфат-ионом межкристалльной рапы

5) осадочные, Огромное значение в добыче солей играют осадочные месторождения. Среди них по морфологии залежей можно выделить пластовые и солянокупольные, а так как соляные купола связаны с находящимися на глубине пластами солей

СТРОНЦИЙ

Общие сведения

Кларк 3,4-10~2, Стронций входит в состав многих минералов кальция и калия, в том числе таких распространенных, как кальцит (до 3,6%), арагонит (до 3,8%), плагиоклазы (до 0,21%), апатит (до 13%), калиевые полевые шпаты (до 0,08%) и др.

Применение в промышленности

Стронций применяется в виде солей (углекислой, реже азотнокислой и хромовокислой) в кинескопах цветных телевизоров, постоянных магнитах, глазуриях для фарфора и фаянса, эмалях, красках и пиротехнике для производства сигнальных и осветительных ракет. Металлический стронций используется в сплавах (например, с медью: повышает ее твердость, не снижая электропроводности). Применяют стронций и при рафинировании цинка.

Генетические типы промышленных месторождений

Промышленными источниками стронция могут быть месторождения различных генетических типов: 1) магматического, К магматическим относятся некоторые стронцийсодержащие апатитовые и апатит-нефелиновые месторождения. Запасы стронция в этих месторождениях очень велики.

2) Карбонатитового карбонатиты обычно характеризуются повышенным содержанием стронция, который на поздних стадиях формирования карбонатитовых месторождений нередко образует собственные минералы (стронцианит, бербанкит, целестин и др.). Но промышленные скопления этих минералов в рассматриваемом типе встречаются редко,

3) В гидротермальных месторождениях стронций часто отмечается в составе многих жильных минералов, преимущественно низкотемпературных (барит, виверит, кальцит), а при высоких концентрациях его иногда образуются промышленные скопления целестина и стронцианита. Месторождения этого типа многочисленны, но обычно невелики по запасам

4) вулканогенно-осадочного. Основные запасы стронция сосредоточены в вулканогенно-осадочных месторождениях. Крупные вулканогенно-осадочные месторождения имеются в США (Лудлоу и др. в шт. Калифорния, Агула и др., в шт. Аризона) и Канаде (Энон-Лох-Леменда); расположены они в континентальных эффузивно-озерных отложениях. Среди туфов, глин и песчаников залегают тела и прослои, состоящие в основном из целестина (40—90%) или стронцианита

5) Основные запасы стронция сосредоточены в вулканогенно-осадочных и эпигенетических фильтрационных месторождениях. Крупные вулканогенно-осадочные месторождения имеются в США (Лудлоу и др. в шт. Калифорния, Агула и др., в шт. Аризона) и Канаде (Энон-Лох-Леменда); расположены они в континентальных эффузивно-озерных отложениях. Среди туфов, глин и песчаников залегают тела и прослои, состоящие в основном из целестина (40—90%) или стронцианита

6) Наиболее интересны в промышленном отношении крупные Стратиформные образования: пласто- и плащеобразные залежи мощностью 1—8 м, прослеживающиеся на километры среди карбонатных пород, иногда песчаников и залегающие согласно с ними.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ПИГМЕНТЫ

Общие сведения

К минеральным пигментам относятся различные минералы и горные породы с характерной окраской, используемые для приготовления различных красок. Для получения красок к ним добавляют связующие вещества — масла, лаки, органический клей, жидкое стекло и др. Кроме природных в промышленности широко используются различные искусственные пигменты. Для пигментов важное значение имеют такие свойства, как цвет, кроющая способность (укрывистость),

свето- и атмосфероустойчивость, водоупорность, химическая, стойкость, маслостойкость, а также структурные особенности, химический и минеральный состав. Цвет определяется цветовым тоном (длиной волны), чистотой тона и его светлотой. Укрывистость— способность пигментов в совокупности со связующим веществом ложиться на окрашиваемую поверхность тонким равномерным слоем и делать невидимым первоначальный цвет этой поверхности. Обычно у пигментов имеются оптимальные размеры частиц, отличающиеся наиболее благоприятными показателями. Диаметр частиц не должен превышать толщину наносимой при окрашивании пленки.

Генетические типы промышленных месторождений

Среди месторождений минеральных пигментов выделяют следующие типы месторождений: 1) контактово-метасоматический, 2) Генетические типы промышленных месторождений

Среди месторождений минеральных пигментов выделяют следующие типы месторождений: 1) Пример контактово-метасоматического типа — формации лазурита, залежи которого приурочены к контактам доломитов с сиенитами и другими изверженными породами, и волластонита, формирующего промышленные тела на контакте известняков с различными изверженными породами (от основных до кислых,

2) К гидротермальным принадлежат киноварная формация, баритовая и железистооксидная.

3) Месторождения выветривания играют существенную роль среди минеральных пигментов. Это и месторождения первичных каолинов, и оксидов железа (типа Елизаветинского и др., возникших в зонах выветривания ультрамафитов), и формации железной шляпы

, 4) Большую роль играют осадочные месторождения. К ним относятся месторождения железа и марганца, мела и других карбонатных пород, глин, диатомитов, волконскоита, вивианита и др. В частности, месторождения вивианита связаны с торфяниками. 5) К метаморфическим относятся месторождения природной сажи, возникающие при пожарах залежи каменного угля (Акчанкуль-ское в Киргизии). Развит этот тип ограниченно 6) Существенна роль метаморфогенных месторождений. Это месторождения графита и железорудные. Пример — железорудные месторождения Кривого Рога и КМА.

Урок №26.

Тема: Месторождения промышленного сырья. Алмаз, графит, слюды, асбест

Графит

Графит представляет собой минерал, имеющий состав чистого углерода С; он кристаллизуется в гексагональной сингонии. Листовой структурой графита с большими расстояниями между слоями (0,335 нм) объясняется ряд его свойств, в том числе весьма совершенная спайность, жирность, мягкость. Вместе с тем в плоскости листочков атомы углерода расположены весьма плотно (0,141 нм), что обуславливает его низкую просвечиваемость (т. е. высокие пигменты свойства), высокую огнеупорность, составляющую $3850 \pm 50^{\circ}\text{C}$. Графит характеризуется высокой электропроводимостью, хорошей теплопроводностью. Ему присущи химическая инертность, гидрофобность. Последнее свойство используется при обогащении руд графита.

Графит применяется в литейном деле – для изготовления тиглей, используемых для плавки специальных сталей, цветных и благородных металлов, противопожарных красок и присыпок, подмазки литейных форм, для изготовления щеток и других деталей в электроприборах, изготовление смазочных материалов, черных карандашей, резины, черных красок, тормозных прокладок, блоков и деталей атомно-ядерных реакторов, щелочных аккумуляторов, батарей, осветительных углей, сварочных электродов, подшипников, реторт, втулок, сопел, форсунок и др. При оценке качества графита учитывают наличие в его составе золы, а также других вредных примесей, например для тиглей – содержание слюды, кальцита и сульфитов, для батарей – меди, железа, никеля и других металлов, для пигментов – сульфидов, для смазочных материалов – кварца, полевого шпата, сульфидов, для угольных щеток – абразивных примесей, меди и других материалов и т.д.

Генетические типы промышленных месторождений.

Среди месторождений графита выделяются следующие генетические типы: 1) магматический и контактово-метаморфический, 2) пегматитовый, 3) метаморфогенный.

Несколько необычно соединение в один *тип магматического и контактового метаморфического* процесса. Однако в условиях генезиса рассматриваемого типа месторождений графита это в известной мере оправдано. Процесс возникновения залежей графита протекает с заимствованием углерода из зон вмещающих пород, прилежащих к интрузивам. По данным изотопного анализа углерода установлено, что при этом используется не углерод карбонатов, слагающих известняки, а углерод, формирующий углистое вещество, рассеянное в этих известняках, вмещающих интрузивы. Расплавленная магма, по-видимому, в процессе ассимиляции известняков концентрирует графит, в который переходит в зоне контакта углистое вещество. Таким образом процесс этот и магматический, и контактовый.

Пегматитовый тип представлен крупночешуйчатыми вкрапленными рудами.

Метаморфогенный тип – ведущий в добыче графита. В нем известно несколько формаций: апокаменугольного скрытокристаллического графита, графита в гнейсах и кристаллических сланцах, графита в мраморах. Графитовые руды образуются за счет каменного угля как при контактовом, так и при региональном метаморфизме. Существенную роль играет формация графита в гнейсах и кристаллических сланцах, руды вкрапленные; возникают, как считают многие геологи, за счет графитизации первично рассеянной в осадочной толщах органики. Однако некоторые исследователи

полагают, что ведущую роль играет привнос графита в графитоносные зоны. Форма рудных тел – пласто- и линзообразная.

Асбест (греч. ἄσβεστος, буквально — неразрушимый) — собирательное название группы тонковолокнистых минералов из класса силикатов. В природе это агрегаты с пространственной структурой в виде тончайших гибких волокон. Применяется в самых различных областях, например в строительстве, автомобильной промышленности и ракетостроении. Разновидность тремолита.

Классификация

Существует два основных типа асбестов — серпентин (хризотил-асбест, или белый асбест) и амфибол (амфибол-асбесты).

- Хризотил-асбест ($3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) — гидросиликат магния, стоек к щелочным средам, разлагается в кислотах с образованием аморфного кремнезёма. Основной, на сегодня, вид асбеста, применяемый в промышленности. [1]
- Амфиболовый асбест — сложный гидросиликат. Сходен по физико-механическим свойствам с хризотил-асбестом. Отличается стойкостью к кислым средам, что мешает выведению из лёгочной ткани человека и может вызвать серьёзные заболевания. [1]

Амфибиолы бывают пяти видов:

- голубой асбест ($\text{Na}_2\text{Fe}^{3+}_2\text{Fe}^{2+}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$)
- амозит
- тремолит
- антофиллит
- актинолит

Серпентины образуют сложенные, скрученные или изогнутые волокна, как правило, они представляют меньшую опасность для здоровья [источник не указан 411 дней]. Амфиболы имеют прямые иглообразные волокна — из-за хрупкости этих структур они образуют частицы, вдыхание которых является канцерогенным фактором. Подробнее см. раздел Безопасность.

Химический состав

По химическому составу асбесты представляют собой водные силикаты магния, железа, отчасти кальция и натрия. К классу хризотил-асбестов относятся следующие вещества:

- $\text{Mg}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$
- $2\text{Na}_2\text{O}\cdot 6(\text{Fe},\text{Mg})\text{O}\cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot 17\text{SiO}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Свойства

Асбест обладает высокой огнестойкостью, поэтому применяется в составах и композициях, где необходимо сочетание гибкости и термостойкости.

Добыча и применение

Асбест входит в состав множества видов изделий в самых различных областях техники. Из волокнистого асбеста изготавливают ткани, картон, фильтры, брезенты, защитные костюмы (для пожарных), бумагу, асбестоцементные строительные материалы (например, шифер) и др. Крупнейшие месторождения минерала находятся в Канаде, ЮАР и России — на Урале (Баженовское и Киембаевское месторождения), в Восточном и Западном Саянах, а также на Северном Кавказе и в Туве (Ак-Довуракское), на севере Казахстана (Джетыгаринское), в Китае, США, Италии, Франции, Финляндии, в Японии, Австралии, на Кипре.

АЛМАЗ Общие сведения

Алмаз (абай.ағ — от греч. непобедимый, несокрушимый) кристаллизуется в кубической сингонии и состоит из углерода с примесью кремния, бора, железа, титана и др. Содержание золы 0,18—5%. Близок по физическим свойствам к алмазу и гексагональный лонсдэлит, имеющий аналогичный состав и структуру типа вюрцита. Лонсдэлит обнаружен в метеоритах каньона Дьябло и Гулапара (США) и в импактитах Сибирской платформы.

Алмазы разделяются на ювелирные и технические. К техническим алмазам относятся борт, его мелкозернистая разновидность — конго и магнитная разновидность — стевартит, карбонадо и баллас. Борт — неправильные кристаллы, сростки, индивиды неправильной формы, некрасивого цвета, трещиноватые; баллас — дробе- или градообразный борт с более твердой, чем центральные части оболочкой Карбонадо — черные серые совершенно непрозрачные тонкозернистые или плотные образования.

Алмаз наблюдается в кристаллах октаэдрического, ромбододекаэдрического и реже кубического габитусов. Правильные, хорошо образованные кристаллы очень редки. Среди алмазов широко распространены кривогранные кристаллы, плоскогранные и плоскорреберные алмазы с характерной скульптурой на гранях. Алмазы могут быть прозрачными, просвечивающими и непрозрачными. По окраске их можно разделить на бесцветные, бурые, серые, черные. Отмечаются алмазы различных оттенков — желтоватого, зеленоватого, голубоватого, розоватого, фиолетового. Возможно изменение окраски под влиянием облучения источниками с различной длиной волн. Показатель преломления высокий, порядка 2,4; блеск алмазный; дисперсия света сильная. Плотность алмаза 3,56 г/см³. Алмаз характеризуется совершенной спайностью по октаэдру и несовершенной по ромбододекаэдру. Твердость у алмаза наивысшая из всех природных веществ; она зависит от кристаллографического направления и наибольшая на гранях октаэдра. Балласы и карбонадо имеют наиболее высокую твердость. Алмаз обладает высоким модулем упругости и низким коэффициентом трения, в связи с чем он исключительно стоек на истирание. Алмаз обычно немагнитен, при трении заряжается положительно, является диэлектриком. Однако встречаются некоторые алмазы голубого или синего цвета, являющиеся .

полупроводниками с проводимостью типа. Для подавляющего большинства алмазов характерно свечение под воздействием ультрафиолетового, катодного и рентгеновского излучения. Поверхность алмазов не смачивается водой (гидрофобна), в связи с чем они хорошо прилипают к жировым поверхностям, что нередко используется при обогащении алмазных руд. :

В алмазах часто встречаются включения — газообразные, жидкие, твердые. Последние представлены, графитом, магнетитом, рутилом, ильменитом, оливином, кварцем. Наиболее часто наблюдаются включения графита. Алмаз химически стоек, не подвергается действию кислот; он сгорает в расплавленной селитре и соде, а при температуре 850—1100 °С — в воздухе, при 720—880 °С — в струе чистого кислорода; при нагревании без доступа воздуха превращается в графит.

Разработано много способов синтеза алмазов. Наиболее близок к природным условиям метод получения алмаза из графита при высоких температурах и давлениях. По составу искусственные алмазы не отличаются от природных, кристаллизуются в формах, наблюдаемых в природе, и соответствуют им по другим свойствам. Размеры первых полученных алмазов не превышали долей миллиметра, сейчас достигают 5 мм.

Алмазы по величине, степени прозрачности, окраске, наличию или отсутствию включений и другим признакам делят на сотни сортов! Для каждого месторождения существует своя сертификация. На мировом рынке действует Генеральная классификация алмазов, которая принята крупнейшими фирмами капиталистических стран. В СССР разработаны технические условия на натуральные алмазы. в соответствии с которыми алмазы делятся на семь категорий и 23 группы.

Слюды

Общие сведения Среди слюд в качестве неметаллического сырья рассматриваются мусковит, флогопит и вермикулит. Формулы этих минералов следующие: мусковит — $\text{KA1}(\text{OH}, \text{F})_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})$, флогопит — $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_8[\text{Si}_2\text{AlO}_{10}]$, вермикулит-(Mg, Fe²⁺, Fe³⁺)₃(OH, F)₂X X [(Si, Al)₄O₁₀] (OH)₂-4H₂O. В мусковите часть калия замещен натрием, а часть алюминия — железом. К вермикулиту в технике относят не только слюду, в которой в процессе преобразования го биотита или флогопита совершенно не осталось калия, но и ряд промежуточных видов, удовлетворяющих требованиям промышленности. Области потребления мусковита и флогопита иные, чем вермикулита. Кристаллы первых легко расщепляются на тонкие ровные упругие пластинки с высокими диэлектрическими свойствами. Удельное объемное сопротивление в направлении, перпендикулярном к плоскости весьма совершенной спайности, у мусковита, составляет 10¹⁴—10¹⁵, флогопита 10¹³—10¹⁴ Ом·см. Но при повышении температуры свыше 250 °С оно снижается почти в 2 раза. Удельное поверхностное сопротивление у мусковита 10¹¹—10¹², а у флогопита

1010—1011 Ом-см., а с повышением влажности оно сильно падает и при относительной влажности до 100% составляет 108—109 Ом-см. Электрическая прочность, определяемая пробивным напряжением, при обычных температурах примерно одинакова у двух рассматриваемых слюд, но с повышением температуры она сильнее понижается у мусковита — в основном при температурах, превышающих 300 °С, в то время как у светлого флогопита она понижается с 400 °С, а у темного после 700 °С. При толщине пластинок 0,05 мм у флогопита электрическое напряжение составляет примерно 98 кВ-мм, а у мусковита 81 кВ-мм. Жароупорность достигает у мусковита 500—600 °С, а у флогопита выше (1000°С у янтарного и зеленого ковдорского флогопита). Химическая стойкость выше у мусковита. Так при длительном кипячении в серной кислоте мусковит теряет лишь 30 % массы. Щелочи на слюды действуют слабо. Прочность на разрыв у мусковита 330—480 МПа и флогопита 220—380 МПа.

Дефекты кристаллов мусковита и флогопита — трещиноватость; пятнистость, связанная с наличием минеральных включений; зажимистость, связанная со сплетением слоев, затрудняющим расщепление по спайности; морщинистость и волнистость, обусловленные волнами поверхности; клиновидность кристаллов, вызванная постепенным утолщением кристаллов к одной из граней за счет расхождения отдельных слоев под небольшим углом и появлением между ними дополнительных слоев; ельчатость, выраженная в образовании волнистости и трещиноватости, направленной лучами под углом 60° от центра кристалла к середине граней; наличие газожидких (или, как говорят на производстве, газовоздушных) включений; ленточность, связанная с трещиноватостью, созданной одинаково ориентированными прямолинейными трещинами. Мусковит и флогопит, добытые на руднике, площадь кристаллов которых не менее 4 см², составляют забойный сырец. Из них затем получают промышленный сырец. К нему относят кристаллы произвольного контура, с полезной площадью не менее 3 см². При этом под полезной понимают площадь кристаллов без проколов, трещин, посторонних минеральных включений и «пережатостей». Промышленный сырец в зависимости от площади кристаллов делится на размеры (в см²): I-100; II-50-100; III - 25-50; IV-4-25. Кроме того, среди слюды размером 4—25 см² выделяют радио детальною, обладающую повышенными качествами — без пятен, с ровной поверхностью пластинок, без минеральных включений.

Кристаллы флогопита в основном подвергаются шипке; часть шипаной слюды получают и из кристаллов мусковита. Из шипаной слюды изготавливают клееные изделия, используемые в электрических машинах, различных приборах и аппаратах. Из кристаллов мусковита получают высококачественную колотую слюду, которая идет на изготовление радиодеталей, конденсаторов, электроизоляции различного назначения (гильотинная слюда). Мусковит очень высокой чистоты, представленный плоскими гладкими пластинами; используется он как телевизионная слюда. Большие листы

мусковита применяются в электростатических «трубках памяти» в некоторых вычислительных машинах. Мусковит используется также в электронных лампах, схемах радарных установок, авиационных свечах зажигания, трансформаторах, фотоэлектронных умножителях и др. Из обрезающей слюды (мусковит и флогопит) делают стержни для водомерных колонок, тепловые элементы, прокладки. Мелкая слюда, получаемая как отходы при разработке или при переработке продукции в фабричных условиях, называется скарпом. Скарп, как забойный, так и фабричный, используется наряду с мелкочешуйчатым мусковитом, добываемым из гранитов, метаморфических комплексов и грейзенов, в кровельной, резинотехнической и других отраслях промышленности. Молотая слюда широко применяется в качестве подсыпки, смазки, обмазки электродов, для изготовления красок. Из мелкой слюды получают так называемую «восстановленную» слюду, используемую в качестве изоляторов.

Урок №27.

Тема: Тальк, флюорит, барит, корунд

Тальк

Тальк – $Mg[Si_4O_{10}](OH)_2$ используется благодаря ряду его свойств, а также особенностям химического состава. Близко по свойствам пиррофиллит – $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$, учет добычи которого в мировой практике ведется совместно с тальком. Часть магния в тальке может замещаться железом, при этом маложелезистые тальковые руды содержат обычно меньше 1,5% оксидов железа в пересчете на Fe_2O_3 , а граница железистых и маложелезистых руд проводится по содержанию Fe_2O_3 2,75%. В небольшом количестве (обычно не более 2%) в тальке может присутствовать Al_2O_3 , хотя при больших давлениях содержание его в тальке может достигать 5% и более. В качестве примесей отмечают в составе тальк незначительные количества MnO , Cr_2O_3 , NiO , CoO и других компонентов.

Тальк и пиррофиллит применяются преимущественно в молотом виде. Высокая белизна талькового порошка обуславливает его использование как наполнителя в бумажной и лакокрасочной отраслях промышленности. Для лакокрасочной промышленности имеет значение и высокая химическая стойкость этого минерала. Инертность талька и высокие диэлектрические свойства этого ценятся при применении талька в кабельной и резиновой отраслях промышленности. Тальк используется при изготовлении резины, как наполнитель и для припудривания готовых изделий для предохранения их от слипания. Большое количество талька потребляет химическая промышленность для изготовления ядохимикатов, кровельная промышленность для изготовления мягкой кровли, а также керамическая.

Среди тальковых руд выделяются сорта с наиболее высоким содержанием талька – талькиты (свыше 75% талька). Тальковые руды, содержащие менее 75% талька и пригодные к распиливанию, называют тальковыми камнями.

Генетические типы промышленных месторождений.

Среди месторождений талька выделяются следующие типы: 1) гидротермальный, 2) выветривания, 3) метаморфогенный.

Месторождения гидротермальные и метаморфогенные нередко трудно отличить друг от друга, так как для формирования тальковых залежей важнейшим фактором является состав исходных подвергшихся оталькованию пород, а не тип растворов, с помощью

которых осуществляется оталькования. По составу этих пород выделяют апомагнезитовые, аподоломитовые, апоультромафитовые месторождения, а также месторождения, возникающие за счет других осадочных и эффузивно-осадочных пород, обогащенных магнием. За счет маложелезистых пород – магнезитов и доломитов – образуется наиболее высококачественные маложелезистые месторождения тальковые руды. Процесс этот отчетливо гидротермального характера и связан с постмагматическими растворами или с подогретыми магматическим процессом подземными водами, которые приобрели свойства гидротермальных растворов, или протекает как регионально-метоморфическое. Месторождения выветривания возникают при выносе из тальк-карбонатных или карбонат-тальковых пород карбонатов, в результате чего формируются почти мономинеральные остаточные скопления талька.

Барит (от др.-греч. βαρύς — тяжёлый), тяжёлый шпат — минерал бария из класса сульфатов, $BaSO_4$.

Свойства

Ромбическая сингония, ромбо-дипирамидальный. В чистом виде бесцветный и прозрачный или белый, но обычно окрашен примесями оксидов железа, сульфидов и т. д. в самые разные цвета. Блеск стеклянный, твёрдость 3-3,5, плотность 4,3-4,7, коэффициент преломления 1,63. Спайность совершенная по (001) и средняя по (210).

Кристаллы — пластинчатые, призматические, игольчатые. Игольчатые радиально-лучистые пучки и тонковолокнистые сферолиты. Пластинчатые, чешуйчатые и зернистые агрегаты.

Происхождение

Распространён широко. Происхождение главным образом гидротермальное, иногда образует самостоятельные рудные жилы в несколько метров шириной. Может заполнять миндалевидные пустоты в ряде основных вулканитов. В осадочных породах образует радиально-лучистые конкреции и секретиции(жеоды) с кристаллами во внутренней полости. Сопутствующие минералы — флюорит, кальцит, кварц, гематит, халькопирит, антимонит, галенит, сфалерит, марказит и др.

Применение

Прозрачные кристаллы барита используют в оптических приборах. Применяют для защиты от рентгеновских лучей, для покрытий и изоляции в химических производствах (благодаря химической стойкости, в частности по отношению к серной кислоте). Служит сырьём для производства бариевых солей, бариевых белил, эмали, глазури; наполнитель при изготовлении резины, клеенки, линолеума, бумаги. Широко применяется в качестве вещества, повышающего плотность буровых растворов.

Корунд — минерал, кристаллический α -оксид алюминия (Al_2O_3), тригональной сингонии, дитригонально-скаленоэдрический.

Свойства

Встречается в виде бочонкообразных, дипирамидальных и таблитчатых кристаллов псевдогексагонального облика, отдельно вкрапленных зёрен и зернистых агрегатов.

- Спайность мнимая, кажущаяся, из-за сильно выраженной отдельности, в силу полисинтетического двойникования.
- Твердость по Моосу 9.
- Плотность 3,9 - 4 г/см³.
- Температура плавления - 2050 °С.
- Цвет широко варьирует от бесцветного и серого до различных оттенков красного, синего или фиолетового.
- Дихроичен. Иногда наблюдается иризация на сколах по спайности.
- Блеск сильный металлический до матового. В некоторых случаях, благодаря закономерно расположенным включениям тончайших рутиловых иголочек, ориентированных по его главным кристаллографическим направлениям, наблюдается эффект астеризма. В этих случаях говорят о "звёздчатых" корундах (рубинах, сапфирах). Химически стоек, нерастворим в кислотах.

Разновидности и применение

Различные кристаллы корунда

Корунд как минеральный вид имеет следующие разновидности:

- Рубин, «красный яхонт» — красного цвета; драгоценный камень первой категории, цена прозрачных хорошо окрашенных экземпляров бывает больше, чем у алмазов.
- Сапфир, «синий яхонт» — синего цвета разной интенсивности. При умеренно-интенсивной васильково-синей окраске — драгоценный камень первой категории, но ценится значительно ниже рубина. Слишком тёмные или слишком светлые сапфиры довольно дешёвы.
- Звёздчатый рубин - экзотический драгоценный камень с эффектом астеризма, обрабатывается в виде кабошона, - на любителя.
- Лейкосапфир или «Восточный алмаз» — бесцветный и совершенно прозрачный корунд; недорогой драгоценный камень.
- «Восточный изумруд» — зелёного цвета;
- «Восточный аметист» — фиолетового цвета;
- Обыкновенный корунд — непрозрачный, крупно- или мелкозернистый, сероватого цвета. Иногда в крупных непрозрачных кристаллах. Благодаря высокой твердости, используют как абразивный материал, из-за высокой температуры плавления используется как огнеупорный материал, а также при изготовлении эмалей.

Крупные хорошо образованные кристаллы добываются как коллекционные экспонаты.

Синтетический корунд

В качестве абразива широко применяется искусственный корунд, получаемый термической обработкой различного высокоглинозёмного сырья. Из корунда

изготавливаются режущие диски для болгарок. Искусственный корунд ранее применялся при изготовлении корундовых игл (вместо дорогих алмазных)- для воспроизведения записи грампластинок в электропроигрывающих устройствах, радиолах.

Сопутствующие минералы

Андалузит, sillиманит, рутил, диаспор, гиббсит, бёмит, шпинель, серпентин, нефелин, полевые шпаты, хлорит, слюды, магнетит.

Происхождение

Типичный гипогенный минерал. Встречается в магматических породах, бедных кремнезёмом (типа сиенитов, нефелиновых сиенитов). Крупные кристаллы находятся в пегматитах, генетически связанных с указанными горными породами. Зерна и метакристаллы достигающие до 10 см в диаметре, характерны для метаморфических пород глубокой стадии метаморфизма — гнейсов, гранатовых амфиболитов, гранулитов. Также образуется при контактово-метаморфических изменениях осадочных пород, богатых глинозёмом — наждак. Основную массу драгоценных разновидностей находят в россыпях.

Технический корунд получают термообработкой бокситов.

Месторождения

Месторождения: Занскар (шт. Кашмир), Индия; близ Балангоды, Ракваны и Ратнапуры — Шри-Ланка; Адамов Мост — цепь скал, балок и песчаных отмелей между Индией и о. Шри-Ланка; Амбуситра, о. Мадагаскар; мраморы Могок, Бирма; Таиланд; о. Наксос, Греция; Банкрофт, Крейгмонт, Ренфру (шт. Онтарио) — Канада; Норвегия; Кортланд (шт. Нью-Йорк), США. В России: Сигангойское (Красноярский край), Ильменские горы и Вишнёвые горы (Челябинская область, Урал), массив Рай-Из, Приполярный Урал, "Косой Брод", Средний Урал, Карелия.

ФЛЮОРИТ Общие сведения

Флюорит, или плавиковый шпат, используется как источник соединений фтора, так и непосредственно благодаря своим особым свойствам. Наряду с флюоритом — CaF_2 источником фтора являются фторапатит и криолит — $\text{Na}_3 [\text{AlF}_6]$, а также в дальнейшем виллио-мит — NaF . Фтор сравнительно широко распространен в земной коре. Кларк фтора $6,6 \cdot 10^{-2}$; в ультрамафитах его содержится $1 \cdot 10^{-2}$, в мафитах $3,7 \cdot 10^{-2}$, в средних породах $5 \cdot 10^{-2}$, кислых $8 \cdot 10^{-2}$, осадочных $5-10 \cdot 10^{-2}$. Содержание фтора повышено в щелочных породах (0,153%). Фтор относят к летучим компонентам магматогенных процессов, он, в частности, рассматривается как один из «переноска-■таков» ряда металлов, в том числе бериллия, олова, урана и др. Во флюорите могут содержаться различные элементы-примеси, в том числе стронций, уран, торий, бериллий, барий, марганец, хром, иттрий, церий, неодим, европий, диспрозий, кадмий,

тербий, иттербий, алюминий, марганец, теллур, титан, медь, свинец, натрий, калий, германий, серебро и др. Концентрация урана обычно выше в темно-фиолетовых и фиолетовых флюоритах, чем в бесцветных, светло-фиолетовых, светло-зеленых. Для некоторых флюоритов характерна термоллюминесценция (свечение при нагревании) и фосфоресценция; после облучения солнечным светом. Флюорит хорошо пропускает инфракрасные и ультрафиолетовые лучи. Показатель преломления флюорита для разных волн легко меняется, он составляет 1,434.; Флюорит, встречающийся в виде землистых масс, называется ратовкитом.

Выделяют кислотный (химический), металлургический (флюсо-вый) и керамический сорта флюорита. Кроме того, имеется оптический флюорит. Имеется значительное число марок флюорита. Буквы в марках обозначают состояние концентрата флюорита или метод его получения: ФР — рядовой, ФК — кусковой, ФГ — гравитационного обогащения, ФФ — флотационного обогащения, ФО — окатыши обожженные. Иногда после двух букв стоит третья — М, она означает, что концентрат «мелкий продукт». Цифры, стоящие после буквы, показывают содержание флюорита, а буквы после цифр — А или Б — отвечают соответственно пониженному и повышенному содержанию кремнезема в концентрате. Например, для марки ФФ-97А содержание SiO_2 допустимо до 1%, для ФФ-97Б до 1,5%, для ФК-95А до 1,5%. Таким образом, марка ФФ-97Б представляет собой флюоритовый концентрат флотационного обогащения с 97%-ным содержанием флюорита с повышенным содержанием кремнезема, ФГМ-75 — флюоритовый концентрат гравитационного обогащения, мелкий, с 75%-ным содержанием флюорита; ФР-20 — флюорит рядовой, руда с 20%-ным содержанием флюорита. Содержание флюорита для различных марок колеблется от 20 до 97 %. Но в оптическом флюорите 100% флюорита. Каждая марка имеет определенные области применения, однако марки ФР-30 и ФР-20 и в основном марка ФР-40 предназначены для обогащения.

В качестве вредных примесей в различных марках флюорита рассматриваются $\text{SiC} > 2$, углекислый кальций, сера и фосфор. В большинстве марок содержание фосфора допускается до 0,1%, и только, для марок, содержащих 75% и менее, флюорита до 0,3%. Содержание серы допускается в основном до 0,1—0,2%, реже до 0,3%, причем для ряда марок нормируется содержание не общей, а сульфатной серы. Содержание CaCO_3 допускается до 1,5—3,5% (в зависимости от марки), в некоторых случаях до 4%; SiO_2 от 1 до 30%, причем последняя цифра контролирует качество марок, содержащих 65 % флюорита; для марок с содержанием 20—55% флюорита допустимое количество ЭЮг устанавливается по соглашению потребителя с поставщиком.

Флюорит широко применяется в металлургической промышленности в качестве флюса (плавня), он снижает температуру плавления и разжижает шлаки при выплавке стали мартеновским и бессемеровским способами и в электропечах. С этой целью используются марки ФК-92, ФГ-92, ФО-92, ФК-85, ФГ-85, ФО-85, ФК-75, ФГ-75, а

частично и более низкокачественные марки ФГМ-75, ФК-65, ФГ-65. В качестве флюса используются кусковой флюорит, а также обожженные окатыши.

В химической промышленности флюорит (марки ФФ-97А, ФФ-97Б, ФФ-95Б, ФФ-92) применяется при получении фтористого водорода, плавиковой кислоты, ее солей и других соединений фтора. Одно из важнейших производств — получение из фтористого водорода искусственного криолита, используемого при производстве алюминия. Плавиковая кислота применяется при травлении стекла и металлов, в качестве антисептика в пивоваренной и винокуренной промышленности, как катализатор, для очистки графита, при рафинировании меди, для кислотной обработки нефтяных скважин и т. д. Фтористый водород используется также при производстве авиационного топлива, для получения элементарного фтора; фтористый натрий для пропитки древесины с целью предохранения ее от быстрого гниения, а также для борьбы с грызунами; кремнефтористый магний с целью повышения кислотоупорных свойств бетона. В цементной промышленности флюорит (марки ФК-65, ФГ-65, ФР-55, ФР-40, ФР-30 и ФР-20) применяется для снижения температуры обжига клинкера, что снижает энергетические затраты. В стекольной промышленности флюорит ускоряет варку стекла и увеличивает его прозрачность. В то же время флюорит используется в качестве глушителей стекол и эмалей, т. е. придает молочно-белый цвет или опалесцирующий эффект. Для глушения стекла в шихту добавляют 10—30% флюорита.

Урок №28.

Тема: Глиноземное сырье, пьезооптическое сырье, цеолиты

ВЫСОКОГЛИНОЗЕМНОЕ СЫРЬЕ Общие сведения

К высокоглиноземному сырью среди неметаллических полезных ископаемых относят кианит — $\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$, силлиманит — $\text{Al}[\text{AlSiO}_5]$, андалузит — $\text{Al}_2\text{O}[\text{SiO}_4]$, дюмортьерит — $\text{Al}_7[\text{BO}_3]_5[\text{SiO}_4]_3$ и топаз $\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2[\text{SiO}_4]$. Все они, особенно первые три минерала, содержат повышенное количество глинозема. Первые четыре минерала широко известны как «огнеупорные» минералы, они при температурах выше 1200°C разлагаются с образованием муллита — $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{X} \cdot \text{X}_2\text{SiO}_2$ и кристобалитового стекла. Муллит имеет температуру плавления около 1800°C и обладает химической инертностью, является диэлектриком. Топаз в качестве огнеупорного сырья стал применяться сравнительно недавно. Из названных минералов изготавливают огнеупоры для металлургической, стекольной и керамической отраслей промышленности. Кроме того, первые из вышеназванных минералов используются для получения электротермическим методом силумина и являются потенциальным источником глинозема и алюминия. Силумин используется в авиационной, автомобильной и других отраслях промышленности. Высокоглиноземные огнеупоры применяют для

изготовления ковшового и стопорного припасов, ре-генераторов мартеновских печей, воздуходувных доменных печей", для футеровки сводов электропечей. Огнестойкость высокоглинозем-ных огнеупоров в 2—2,5 раза выше шамотных огнеупоров.

Красивые синие кристаллы кианита используются в качестве поделочного камня.

Ведущие страны по добыче высокоглиноземных минералов — Ин-дия, США, ЮАР. Добыча этих минералов ведется также в СССР, Франции, Испании, Южной Корее, Мозамбике, Намибии, Зимбабве. Большие запасы этого вида сырья в Австралии, Канаде, Румынии, Болгарии, Демократической Республике Мадагаскар. В экономиче-ски развитых капиталистических и развивающихся странах добыва-ют несколько сот тысяч тонн рассматриваемых минералов ежегодно.

Генетические типы промышленных месторождений

Среди месторождений высокоглиноземного сырья выделяют сле-дующие типы: 1) гидротермальный; 2) метаморфогенный; 3) рос-сыпной.

К гидротермальным относятся корунд-андалузитовая формация

во вторичных кварцитах, охарактеризованная при описании место-
рождений корунда, а также топазовая в грейзенах.

К метаморфогенным следует относить кианитовую и силлиманитовую формации в кристаллических сланцах (Кейвское месторожде-ние в СССР, Лапса-Буру в Индии), возникшие при региональном ме-таморфизме. Некоторые месторождения являются комплексными и кроме кианита содержат гранат и мелкочешуйчатый мусковит» К этому же типу относятся контактово-метасоматические формаций-силлиманитов ая (Кяхтинское месторождение в СССР) и хиастолито-вая. Как известно, хиастолит — это разновидность андалузита, кри-сталлы которого имеют углистое ядро. Хиастолитовая формация раз-вивается в зоне контакта глинистых: сланцев . с интрузивами. Кяхтинское месторождение, представленное в основном тонковолок-нистым силлиманитом — фибролитом, приурочено к кристаллическим сланцам.

Россышные месторождения представлены делювиальным типом (корунд-андалузитовая россыпь Семиз-Бугу), прибрежно-морскими, древними (месторождения Житомирской обл.) и; современными, в том числе шельфовыми.

ПЬЕЗОКВАРЦ И ОПТИЧЕСКИЙ КВАРЦ |

Общие сведения 1

В качестве сырья для пьезооптической и оптической отраслей промышленности используются кристаллы (З-кварца, кристаллизую-щегося в тригональной сингонии. К разновидностям р-кварца отно-сятся прозрачный бесцветный горный хрусталь, золотисто-желтый цитрин, фиолетовый аметист, смоляно-черный морион, дымчатый раухтопаз, розовый кварц. При температуре 573 °С ((З-кварц переходит в

гексагональный α -кварц; последний при $870\text{ }^\circ\text{C}$ — в α -тридимит, который при $1470\text{ }^\circ\text{C}$ превращается в α -кристобалит с температурой плавления $1710\text{ }^\circ\text{C}$. Твердость β -кварца по шкале Мооса 7; плотность $2,65\text{—}2,66\text{ г/см}^3$; он хорошо пропускает ультрафиолетовые и инфракрасные лучи, термостоек, плохо проводит электрический ток, химически стоек (но хорошо растворяется в плавиковой кислоте). Кристаллы кварца способны изменять плоскость поляризации. У кварца высокая прочность: для разрыва кристалла, поперечное сечение которого 1 см^2 , необходима сила около 1000 кг , а для того чтобы раздавить кварцевый кубик объемом 1 см^3 , требуется груз массой несколько тонн. Пьезоэлектрические свойства кристаллов α -кварца были открыты французскими физиками Пьером и Жаксом Кюри еще в 1880 г. Пьезоэффект проявляется при сжатии или растяжении пластинок, изготовленных из кристаллов кварца. Усилие прилагают в направлении двойной оси (аг); при этом возникают электрические заряды с противоположными знаками на разных концах пластинки. Если же к пластинке кварца, помещенной между двумя металлическими электродами, подключить электрический ток, то пластинка будет сжиматься или растягиваться в зависимости от направления тока; при переменном токе пластинка придет в состояние упругого колебания. Пьезоэффект не проявляется в направлении оси третьего порядка (аз).

Среди кристаллов α -кварца различают левые и правые формы. Правые кристаллы вращают плоскость поляризации вправо, левые — влево. При использовании кристаллов α -кварца в пьезооптической и оптической отраслях промышленности учитывают наличие ряда дефектов, снижающих возможности или вообще препятствующих применению кристаллов для этих целей. К числу дефектов относятся трещиноватость, минеральные и газожидкие включения, свили и мозаичность, наличие двойников.

Трещины могут быть природными, т. е. вызванными тектоническими и технологическими причинами, полученными в результате неправильно ведущихся работ по добыче или полученными при транспортировке кристаллов. Трещины хорошо обнаруживаются при осмотре кристаллов под лампой мощностью $300\text{—}500\text{ Вт}$. Твердые включения представлены кристаллами пирита, гематита, рутина, серицита, актинолита, хлорита и др. В некоторых случаях минеральные включения придают кристаллам кварца декоративность, поэтому их используют в ювелирной промышленности. Например, тонкие нитевидные кристаллы рутила, пронизывающие кристалл кварца, характерны для кварца-волосатика, из которого изготавливают различные украшения. Включения жидкостей и газов, захваченных во время роста кристаллов, а также вторичные включения в сформировавшихся кристаллах ограничивают возможности их использования, а при большом их количестве полностью исключают применение этих кристаллов в пьезооптической и оптической отраслях промышленности. От обилия включений этого типа кристаллы кварца могут приобрести молочно-белую окраску. Нагреванием пластинки с первичными двухфазными газожидкими включениями можно добиться их гомогенизации, т. е.

перехода к однофазным. По температуре гомогенизации судят о температуре образования кристаллов. Газпкп-житткий и жиитсие включения

снижают чистоту состава кристаллов, используемых для плавки оптических стекол.

Свилеватость и мозаичность обусловлены неоднородным строением кристаллов, связаны с наличием блоков (микроучастков) в пределах кристаллов различной ориентировки. Различия эти обычно невелики, но являются существенным дефектом, препятствующим применению кристаллов в пьезооптической и оптической отраслях промышленности. Свилеватость выявляется на сколах кристаллов. У несвилеватых кристаллов сравнительно однородный раковистый излом или излом типа «часового стекла». Свилеватость проявляется в сложной неправильной форме скола, наличии нитевидных линий на его поверхности и др.

Для кристаллов р-кварца наиболее распространены дофинеи́ские двойники, несколько меньше бразильские и значительно реже японские и др. Дофинеи́ские двойники — это срастание однотипных индивидов, т. е. только левых или только правых, но при этом один из них повернут по отношению к другому на 60° вокруг оси Z . Двойниковые швы дофинеи́ских двойников выражены в виде неправильных извилистых линий (рис. 99), хорошо видных на разрезах кристаллов, ориентированных под углом 90° к оси Z , после двух- и трехчасового травления кристаллов в нарах плавиковой кислоты. Кристаллы с дофинеи́скими двойниками могут применяться в оптической промышленности, но не могут употребляться для изделий, в которых используют пьезоэффект. Этот дефект можно ликвидировать путем механического воздействия на кристаллы. Бразильские двойники формируются при срастании левого и правого индивидов β -кварца. Двойниковые швы у этого вида двойников прослеживаются в виде относительно менее извилистых линий, чем у дофинеи́ских. Кристаллы с этими двойниками не используются, ни в оптической отраслях промышленности.

К дефектам кристаллов относится также их окраска, которая препятствует их применению в оптической промышленности.

Для выявления дефектов у кварцевых галек, поверхность которых может быть интенсивно поцарапана в процессе их переноса в водных потоках, их смачивают керосином, показатель преломления которого промежуточный между кварцевыми ($n_{\text{т}} \sim 1,544$; $n_{\text{г}} = 1,553$) и воздуха, а затем гальку рассматривают «на просвет» при освещении лампочкой 300—500 Вт. Это позволяет установить некоторые дефекты, например трещины.

Благодаря пьезоэффекту кристаллы β -кварца применяются в радиотехнике, ультразвуковой гидроакустике, дефектоскопии, а также изучении свойств газов, жидкостей и твердых тел, при исследовании вибраций, в пьезометрии для измерения давления, вибраций, вибрации мостов и т. п., для изготовления линз и пластинок с целью получения ультразвуковых волн. Кварцевые пластинки применяют при изготовлении пьезоэлектрических резонаторов и фильтров радиочастот, в

пьезометрических звукозаписывающих, пьезоэлектрических микрофонах, громкоговорителях, акселерографах, монотрах.

Оптический кварц применяют для призм спектрографов, окошек ; л линз, пропускающих ультрафиолетовые лучи, пластинок и клиньев для поляризационных микроскопов, призм Френеля, светофильтров, в-поляриметров, сахариметрах и других изделий.

Горный хрусталь и окрашенные разновидности β -кварца используются в гранильно-ювелирном деле.

Кристаллы кварца с высокой химической чистотой используются для плавки и варки весьма ценных оптических стекол. Плавка и ,сварка оптических стекол в последние годы получили исключительно широкое развитие. Частичной заменой кристаллов (β -кварца для этих \ цели является чистый жильный кварц, нередко предварительно проходящий стадию обогащения, в том числе от части газовой-жидких включений, а также синтетические кремниевые-продукты. Часть кри-сталлов β -кварца, а также их красивых сростков (друз), используется в качестве коллекционного материала (музейные, школьные и другие коллекции).

Урок №29.

Тема: Месторождения строиматериалов

ПЕСОК И ГРАВИЙ

Общие сведения

Для песка, гравия и других обломочных пород большое значение имеет гранулометрический состав. Границы между различными раз-ностями обломочных пород проводятся по-разному. По одной из классификаций выделяют следующие пределы по диаметру частиц (в мм): пески — мелкий 0,25—0,1, средний 0,50—0,25, крупный 1— 0,50; гравий — мелкий 2,5—1, средний 5—2,5, крупный 10—5; галька и щебень — мелкие 25—10, средние 50—25, крупные 100—50; валу-ны— мелкие 250—100, средние 500—250, крупные 1000—500; глы-бы— более 1000. По другой классификации к глыбам относят части-цы более 1500 мм, а к гравию — от 3 до 70 мм. Следует отметить, что гранулометрический состав рассматриваемой группы пород во многих случаях неоднородный, в связи с чем их называют обычно по преобладающей фракции, а в ряде случаев встречаются разнозер-нистые песчано-гравийные породы. В этой же группе обломочных пород следует рассматривать и глыбово-щебеночный материал, раз-витый вдоль горных склонов, а также маршаллит — мучнистую сы-пучую кварцевую породу.

Значительное количество кварцевых песков используется благо-даря особенностям их состава. К числу отраслей промышленности, чистота состава кварцевых песков для которых имеет важнейшее значение, относятся стекольная, керамическая, производство ферро-силиция, карбида кремния, карборунда, жидкого стекла, силикатного кирпича,

динаса, элементного кремния и т. д. Для стекольной и керамической промышленности особенно вредны элементы-хромофотры: железо, хром, титан, ванадий, никель и др. Ограничивается также содержание CaO , Al_2O_3 и некоторых других компонентов. Например, для производства оптических стекол, свинцового хрусталя, увио-левого стекла (марка ООВС-010-В) Fe_2O_3 должно быть не более 0,01%, Al_2O_3 до 0,1%, SiO_2 более 99,8%; а для производства бессвинцового хрусталя и ряда других изделий марки ООВС-015-1 содержание F_2O_3 ограничивается 0,015%, Al_2O_3 0,2%, SiO_2 не менее 99,3%.

При производстве изделий тонкой керамики марок ПК-95 и ПК-93 содержание SiO_2 должно быть соответственно не менее 95 и 93%, а $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ не более 0,2 и 0,3%, каолина до 1 и 2% соответственно. Для песка, используемого в производстве силикатного кирпича без помола, SiO_2 должно быть более 50%, SO_3 не более 2%, сумма щелочей в пересчете на Na_2O не более 3,6% (для пересчета содержания K_2O на Na_2O содержание K_2O в процентах умножают на коэффициент 0,7), глинистых и пылеватых частиц диаметром меньше 0,05 мм не более 10%, в том числе частиц менее 0,005 мм не более 2%. Те же компоненты лимитируются при производстве силикатного кирпича с помолом песка, а также изделий из автоклавных бетонов. При этом для изделий из ячеистого бетона содержание SiO_2 должно быть более 90%, сумма щелочей до 0,9%, частиц менее 0,05 мм меньше 3%, в том числе частиц меньше 0,005 мм менее 0,5%. Лимитируется также содержание органических примесей, а для песков, используемых без помола, и содержание частиц крупнее 5 мм. Однородность гранулометрического состава играет большую роль и для стекольной промышленности. Высокое содержание SiO_2 лимитируется для фильтровальных, а также абразивных песков. В качестве абразивных песков используются пески с остроугольными зернами. Большое значение гранулометрический состав имеет при использовании песков в качестве заполнителей бетона, в качестве балласта при строительстве железных дорог. Пески применяют в качестве отощающей добавки в глины при изготовлении кирпича и черепицы, заполнителя в асфальте, дорожных оснований при строительстве автомобильных дорог, в кладочных и штукатурных растворах, в качестве присыпочно-го материала в производстве кровельных рулонных материалов и др. В большинстве случаев, в том числе для использования песка в качестве заполнителей бетона, вредной считается глинистая фракция песка.

В государственном стандарте по формовочным пескам к глинистой фракции относят частицы диаметром меньше 0,075 мм. В зависимости от марки предельное содержание этой фракции составляет 0,2—1,1%. Содержание SiO_2 в формовочных песках должно быть по менее 97—98,5%, а щелочей и щелочных земель в сумме не более 0,4—1%, Fe_2O_3 не более 0,2—0,6%. Среди формовочных песков выделяют три вида по характеру зерен: округлые, полуокруглые и остроугольные, а по соотношению фракций различных размеров зерен пески делят на две категории — А и Б. К категории А относят пески с остатком на верхнем сите основной фракции большим, чем на крайнем нижнем сите, а к категории Б — пески с остатком на крайнем нижнем сите большим,

чем на крайнем верхнем. По размерам зерен песок делится в рассматриваемом стандарте на семь групп: грубый, очень крупный, средний, мелкий, очень мелкий, топочный и пылевидный. Например, у грубых песков (группа 063) зерна основной фракции остаются на ситах 1 (в скобках здесь и ниже — диаметр сит в мм) 063 (0,63) и 04 (0,4); у крупных 04 (0,4), 0315 (0,315) и 02 (0,2); у пылевидных 0063 (0,063), 005 (0,05) и в тазике. Кроме того, выделяют пески сосредоточенной зерновой структурой, у которых не менее 70% зерен (по массе) остается на смежных трех ситах, и пески с рассредоточенной зерновой структурой. Для формовочных песков важны хорошая газопроницаемость и достаточная огнеупорность, обусловленная высоким процентом зерен кварца.

Для разливки чугуна огнеупорность литейных песков должна быть выше 1400 °С, стали выше 1500 °С, медных, алюминиевых и магниевых сплавов выше 1200, 800 и 700 °С (так как приведенные данные указывают на температуры, при которых осуществляется разлив литья). Среди песков для строительных работ выделяют по модулю крупности (в мм): крупные 2,5, средние 2—2,5, мелкие 1,5—2 и очень мелкие 1—1,5. Для заполнения бетона и в качестве материала для дорожных одежд используют только первые три группы, а для строительных растворов можно применять и четвертую группу. Остаток на сите 063 (т. е. с ячейками 0,63 мм) у групп с 1 по 4 составляет по массе соответственно свыше 45, 30—45, 10—30 и до 10%. При этом, если по модулю крупности песок отвечает одной группе, а по остатку на сите 063 другой, то в оценке решающую роль играет модуль крупности.

Гравий и природная щебенка используются или в естественном виде, или после дробления. Дробятся обычно валуны и глыбы, хотя в некоторых случаях из глыб можно получить и штучный камень, в том числе облицовочные доски. Гравий, щебенка и валуны оцениваются по содержанию дробленых зерен, зерновому составу, форме зерен, прочности, содержанию зерен слабых пород (в том числе мягких сланцев, выветрелых разностей и др.), пылевидных, глинистых и илистых частиц и по минерально-петрографическому составу. Для заполнения бетона монолитных и сборных конструкций и железобетонных конструкций дробленых зерен должно быть не менее 80% по массе, при этом под дроблеными понимаются зерна, поверхность которых околота больше чем наполовину. Определяется дробимость как следствие потери в массе после испытания в цилиндре, истираемость по потерям массы в полочном барабане, морозостойкость по числу циклов замораживания и оттаивания при определенной лимитируемой потере в массе. Лимитируется минимальное количество пылеватых, глинистых и илистых частиц для разных марок гравия от 1 до 2%, в том числе количество глины в комках должно быть не более 0,25%. Ограничивается число частиц игловидной и плоской (лещадной) форм. Так, для обычного щебня оно составляет (в %) не более 35, улучшенного 25 и кубовидного 15. Пределы прочности при сжатии изменяются в зависимости от марок от 40 до 100 МПа.

Песок и гравий добывают в огромных количествах, их мировая добыча измеряется миллиардами тонн; только в США она составляет: около 860 млн. т.

0,01%, Al_2O_3 до 0,1%, SiO_2 более 99,8%; а для производства бесцветного хрусталя и ряда других изделий марки ООВС-015-1 содержание F_2O_3 ограничивается 0,015%, Al_2O_3 0,2%, ЭЮг не менее 99,3%.

При производстве изделий тонкой керамики марок ПК-95 и ПК-9^А содержание БЮг должно быть соответственно не менее 95 и 93%, г $Fe_2O_3 + TiO_2$ не более 0,2 и 0,3%, каолина до 1 и 2% соответственно. Для песка, используемого в производстве силикатного кирпича бег помола, $SiC > 2$ должно быть более 50%, SO_3 не более 2%, сумма щелочей в пересчете на Na_2O не более 3,6% (для пересчета содержания K_2O на Na_2O содержание K_2O в процентах умножают на коэффициент 0,7), глинистых и пылеватых частиц диаметром меньше 0,05 мм не более 10%, в том числе частиц меньше 0,005 мм не более 2%. Те же компоненты лимитируются при производстве силикатного кирпича с помолем песка, а также изделий из автоклавных бетонов. При этом для изделий из ячеистого бетона содержание SiO_2 должно быть более 90%, сумма щелочей до 0,9%, частиц меньше 0,05 мм меньше 3%, в том числе частиц меньше 0,005 мм меньше 0,5%. Лимитируется также содержание органических примесей, а для песков, используемых без помола, и содержание частиц крупнее 5 мм. Однообразие гранулометрического состава играет большую роль и для стекольной промышленности. Высокое содержание БЮг лимитируется для фильтровальных, а также абразивных песков. В качестве абразивных песков используются пески с остроугольными зёрнами. Большое значение гранулометрический состав имеет при использовании песков в качестве заполнителей бетона, в качестве балласта при строительстве железных дорог. Пески применяют в качестве отощающей добавки в глины при изготовлении кирпича и черепицы, заполнителя в асфальте, дорожных оснований при строительстве автомобильных дорог, в кладочных и штукатурных растворах, в качестве присыпочно-го материала в производстве кровельных рулонных материалов и др. В большинстве случаев, в том числе для использования песка в качестве заполнителей бетона, вредной считается глинистая фракция песка.

В государственном стандарте по формовочным пескам к глинистой фракции относят частицы диаметром меньше 0,022 мм. В зависимости от марки предельное содержание этой фракции составляет 0,2—1,1%. Содержание БЮг в формовочных песках должно быть не менее 97—98,5%, а щелочей и щелочных земель в сумме не более 0,4—1%, Fe_2O_3 не более 0,2—0,6%. Среди формовочных песков выделяют три вида по характеру зёрен: округлые, полукруглые и остроугольные, а по соотношению фракций различных размеров зёрен пески делят на две категории — А и Б. К категории А относятся пески с остатком на верхнем сите основной фракции большим, чем на крайнем нижнем сите, а к категории Б — пески с остатком на крайнем

нижнем сите большим, чем на крайнем верхнем. По размерам зерен песок делится в рассматриваемом стандарте на семь групп: грубый, очень крупный, средний, мелкий, очень мелкий, топякий и пылевидный. Например, у грубых песков (группа 063) зерна основной фракции остаются на ситах 1 (в скобках здесь и ниже диаметр сит в мм) 063 (0,63) и 04 (0,4); у крупных 04 (0,4), 0315 (0,315) и 02 (0,2); у пылевидных 0063 (0,063), 005 (0,05) и в тазике. Кроме того, выделяют пески сосредоточенной зерновой структурой, у которых не менее 70% зерен (по массе) остается на смежных трех ситах, и пески с рассредоточенной зерновой структурой. Для формовочных песков важны хорошая газопроницаемость и достаточная огнеупорность, обусловленная высоким процентом зерен кварца.

Для разливки чугуна огнеупорность литейных песков должна быть выше 1400 °С, стали выше 1500 °С, медных, алюминиевых и магниевых сплавов выше 1200, 800 и 700 °С (так как приведенные данные указывают на температуры, при которых осуществляется разлив литья). Среди песков для строительных работ выделяют по модулю крупности (в мм): крупные 2,5, средние 2—2,5, мелкие 1,5—2 и очень мелкие 1—1,5. Для заполнения бетона и в качестве материала для дорожных одежд используют только первые три группы, а для строительных растворов можно применять и четвертую группу. Остаток на сите 063 (т. е. с ячейками 0,63 мм) у групп с 1 по 4 составляет по массе соответственно свыше 45, 30—45, 10—30 и до 10%. При этом, если по модулю крупности песок отвечает одной группе, а по остатку на сите 063 другой, то в оценке решающую роль играет модуль крупности.

Гравий и природная щебенка используются или в естественном виде, или после дробления. Дробятся обычно валуны и глыбы, хотя в некоторых случаях из глыб можно получить и штучный камень, в том числе облицовочные доски. Гравий, щебенка и валуны оцениваются по содержанию дробленых зерен, зерновому составу, форме зерен, прочности, содержанию зерен слабых пород (в том числе мягких сланцев, выветрелых разностей и др.), пылевидных, глинистых и илистых частиц и по минерально-петрографическому составу. Для заполнения бетона монолитных и сборных конструкций и железобетонных конструкций дробленых зерен должно быть не менее 80% по массе, при этом под дроблеными понимаются зерна, поверхность которых околота больше чем наполовину. Определяется дробимость как следствие потери в массе после испытания в цилиндре, истираемость — по потерям массы в полочном барабане, морозостойкость — по числу циклов замораживания и оттаивания при определенной лимитируемой потере в массе. Лимитируется минимальное количество пылеватых, глинистых и илистых частиц для разных марок гравия от 1 до 2 %, в том числе количество глины в комках должно быть не более 0,25%. Ограничивается число частиц игловидной и плоской (лещадной) форм. Так, для обычного щебня оно составляет (в %) не более 35, улучшенного 25 и кубовидного 15. Пределы прочности при сжатии изменяются в зависимости от марок от 40 до 100 МПа.

Песок и гравий добывают в огромных количествах, их мировая добыча измеряется миллиардами тонн; только в США она составляет около 860 млн. т.

Генетические типы промышленных месторождений

Среди месторождений песков, гравия, щебенки, галечников, мар-шаллитов можно выделить следующие генетические типы: 1) выветривания, 2) осадочные, 3) эффузивно-осадочные.

К месторождениям выветривания относятся формация остаточных элювиальных песков, развивающихся по песчаникам и кварцитам, и формация маршаллитов. Последние возникают в коре выветривания тонкоокварцованных карбонатных пород, а иногда и кварцитов, предварительно развившихся метасоматически по карбонатным породам. Месторождения элювиальных песков имеют в СССР ограниченное значение; форма залежей их в основном плащеобразная; мощность непостоянная. Пример — Харгинское месторождение в Прибайкалье. Пески здесь чистые, пригодные для стекольной промышленности; мощность залежи до 5,5 м. Месторождения маршаллитов известны на Урале (Тактубайское), в Сибири: (Алгуйское) и др. Залежи преимущественно плащеобразные; мощность обычно от долей метра до нескольких метров.

Урок №30.

Тема: Месторождения драгоценных, технических и декоративных камней

ПОНЯТИЕ О ДРАГОЦЕННЫХ И ПОДЕЛОЧНЫХ КАМНЯХ

Драгоценные и поделочные камни могут быть представлены как отдельными кристаллами (рубин, алмаз, изумруд, хромдиопсид и др.), так и агрегатами (бирюза, селенит, хризолит, алунит, нефрит, родусит, малахит и др.) и горными породами (лабрадорит, чароитовая порода, родонит, обсидиан, лиственит, роговик, гагат, поделочный змеевик, талько-хлорит, тингуаит, цветной туф, эвдиалитовый хибинит, липарит и др.). Одни из них используются только как ювелирные или поделочные камни (изумруд, куицит и т. п.), другие — в качестве технического камня и в других целях. Например, рубин и алмаз — для производства фильер, в приборостроении, как абразивы; агат — для изготовления призм химических весов, ступок и пестиков к ним, подпятников для электрических и водомерных счетчиков, цапф для нивелиров, теодолитов и других приборов, нитеводителей и др.; яшма — для изготовления ступок; обсидиан — для производства стекла и т. д. Для технических целей используются во многих случаях камни менее ценные, чем для ювелирных. Поэтому различают технические и ювелирные агаты, хотя на месторождениях они обычно распространены совместно. В технике камни ценятся за свои физические и химические свойства: так, агат характеризуется высокой твердостью, вязкостью, кислотостойкостью (кроме воздействия плавиковой кислоты).

Существует ряд классификаций драгоценных и поделочных камней. Драгоценные камни нередко называют ювелирными. И драгоценные, и поделочные камни часто объединяют под общим названием — цветные камни, хотя некоторые из них не имеют окраски. Камнями-самоцветами некоторые специалисты называют только прозрачные ювелирные камни. В отдельных классификациях (например, А. И. Цюрупы и Е. Я. Киевленко) выделяется группа ювелирно-поделочных камней.

Для драгоценных камней характерны повышенная твердость, блеск, красота окраски, сильное лучепреломление и светорассеяние, прозрачность, дисперсия света, химическая стойкость, способность хорошо шлифоваться и полироваться. Существует ряд способов огранки драгоценных камней, в том числе три основных типа: бриллиантовая, ступенчатая и кабошоном; кроме того/существуют и различные смешанные формы огранки (рис. 100). Огранка камня придает ему высокодекоративный вид. Правильная огранка позволяет скрыть дефекты камня, подчеркнуть его индивидуальные достоинства. Е. Я. Киевленко классифицирует камни главным образом по стоимости.

Внутри класса драгоценных камней им выделено четыре порядка. К камням I порядка относятся алмаз, изумруд, рубин, синий сапфир; II — александрит, благородный жадеит, оранжевый, желтый, фиолетовый и зеленый сапфир, благородный черный опал; III — демантоид, благородная шпинель, благородные белый и огненный опал, аквамарин, топаз, родолит (разновидность пироба), лунный камень (адуляр), красный турмалин; IV — синий, зеленый, розовый и полихромный турмалин, благородный сподумен (кунцит, гиддонит), циркон, желтый, зеленый, золотистый и розовый берилл, бирюза, хризолит, аметист, хризопраз, пироп, альмандин, цитрин, ювелирный даибурит. Ювелирно-поделочные камни I порядка — раухтопаз, гематит-кروавик, янтарь-сукцинит, горный хрусталь, жадеит, нефрит, лазурит, малахит, авантюрин; II порядка агат, цветной халцедон,* кахолонг, амазонит, родонит, гелиотроп, розовый кварц, иризирующий обсидиан, обыкновенный опал, Лабрадор, беломорит и другие, непрозрачные иризирующие полевые шпаты. К поделочным камням в рассматриваемой классификации отнесены яшмы, письменный гранат, окаменелое дерево, мраморный оникс, лиственит, обейдиан, гагат, джеспилит, селенит, флюорит, авантюриновый кварцит, агальматолит, рисунчатый кремень, цветной мрамор.

Драгоценные камни I порядка оцениваются свыше 1500 долл.] за 1 карат. Например, бирманские рубины массой свыше 5—10 карат оцениваются в 10—20 тыс. долл. за 1 карат. Драгоценные камни II порядка стоят обычно от 500—600 до 1200 долл., III порядка — от 50 до 300 долл. и IV порядка 5—40 долл. за 1 карат. Масса ювелир-

Стоимость ювелирно-поделочных камней I порядка 30—150 долл., реже до 1000 долл. за 1 кг, II порядка — 1—15 долл. за 1 кг. Цена поделочных камней — от 10 центов до 1,5 долл. за 1 кг.

К группе поделочных камней примыкает группа декоративно-облицовочных камней, причем у этих групп известен ряд общих видов. Следует отметить, что в связи с

высокой ролью индивидуальных «особенностей» камня границы между группами и порядками в известной мере условны.

Определенное значение приобрели в последнее время коллекционные образцы — различные щетки и друзы кристаллов, хромитовая руда красивой нодулярной текстуры, хорошо ограненные кристаллы пирита и других минералов, красивые образцы с корундом рубиновой окраски и т. д. Большинство таких образцов может добываться попутно с извлечением других полезных ископаемых. Например, красивые кристаллы пирита имеются на Березовском месторождении золота, здесь же развиты декоративные листвениты, коллекционные хромиты — на месторождениях хрома и т. д.

В связи с большой потребностью в ювелирных камнях и огромной стоимостью их запасов и добычи развилось производство искусственных — синтетических ювелирных и технических камней. Выявляют не только камни, отвечающие по составу природным (рубин сапфир, изумруд, аметист, аквамарин и др.) но и специфически типа иттрий-алюминиевые и иттрий-галлиевые гранаты, титана стронция (старилан), двуоксиды гафния и циркония (фианиты), синий кварц (перунит) и др. Природные камни значительно дороже синтетических. Существенное значение уделяется облагораживанию природных камней (различными методами улучшается их расцветка, восстанавливается нарушенная выветриванием и другим процессами). облагораживают, как правило, драгоценные камни IV порядка.

Урок №31.

Тема: 4 Раздел Месторождения горючих ископаемых. Общая характеристика горючих отложений.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРЮЧИХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Общие сведения

Горючие полезные ископаемые иногда называют каустобиолитами. Это слово происходит от греческих слов: *καυτος* — горючий, *βίος* — жизнь и *λίθος* — камень. Термин свидетельствует об органическом происхождении всех горючих полезных ископаемых. Но если для углей доказано органическое и преимущественно растительное происхождение, то для нефти этот вопрос еще не решен.

Горючие ископаемые по физическим признакам разделяются на три основные группы: твердые — ископаемые угли, горючие сланцы, асфальты, озокериты, пиробитумы и др.; жидкие — нефть, конденсат; газообразные — горючие газы.

В горючие ископаемые углерод попадает из остатков животных и растительных организмов при их отмирании. Углерод из углекислоты воздуха усваивается благодаря способности хлорофилла к такой ассимиляции. Реакция, которая при этом происходит ($\text{CO}_2 = \text{C} + \text{O}_2$), требует определенной затраты солнечной энергии.

Одна часть органического вещества после отмирания организмов подвергается разложению бактериями, при этом в виде углекислого газа и метана выделяется углерод. Другая часть минерализуется, и в этом случае углерод переходит в состав минеральных соединений. Попав в метаморфическую оболочку земной коры, минеральные соединения углерода при нагревании разлагаются, в результате образуются углекислый газ и частично метан, которые снова возвращают углерод в атмосферу, в которой содержание CO_2 равно 0,03%.

Циклический процесс круговорота в природе показан на рис. 101. Конечно, это не просто круговорот по замкнутому кругу без существенного качественного изменения.

Горючие ископаемые образуют два ряда — угольный и нефтяной. В каждом из них содержание кислорода постепенно уменьшается, а углерода — возрастает. В середине (табл. 9) расположен торф, состав которого наиболее близок к составу растительных остатков. В концах рядов находятся антрацит и нефть, почти одинаково богатые кислородом и отличающиеся друг от друга содержанием водорода: в нефти его много, в антраците очень мало (см. табл. 9).

В каменных и бурых углях частично сохраняется структура исходного растительного материала и содержатся форменные элементы (скопления спор, смоляных тел и т. д.).

В угле, как и в нефти, присутствуют битумы. Битумы встречаются в природе в виде газообразных, жидких и твердых веществ как и чистом виде, так и в смеси с другими минералами. В смеси с неорганическим материалом битумы образуют битуминозные породы (битуминозные известняки, песчаники и т. д.). Характерная особенность твердых и жидких битумов (чем отличаются они от углей) — способность растворяться в бензине, скипидаре, бензоле, хлороформе и сероуглероде. Углеводородные вещества, нерастворимые в этих жидкостях и обнаруживаемые только при сильном прокаливании благодаря выделению при этом летучих веществ, называются пиробитумами (антроксолиты, шунгиты, альбертиты и др.). Пиробитумы в смеси с минеральными веществами образуют пиробитуминозные породы, к которым относятся битуминозные угли, различные горючие сланцы и т. п. Ископаемый уголь состоит из продуктов разложения и изменения растительных остатков, образовавшихся при отмирании деревьев, кустарников и других растений. "Превращение исходного растительного материала происходит в начальной торфяной стадии при участии микроорганизмов и воды, а в последующих стадиях — в условиях давления окружающих пород и сравнительно высокой температуры. Процесс углефикации протекает) после образования гуминовых кислот — одной из основных составляющих органической массы торфа и непереносимого компонента бурых углей. В каменных углях гуминовые кислоты переходят в нерастворимые в щелочах гумины.

Гуминовые кислоты образуют гуминовые вещества, представляющие собой аморфные образования от светло- до темно-бурого цвета. В обезвоженном торфе они выполняют пространство между неразложившимся растительным веществом.

Урок №32.

Тема: Торфяные месторождения

Торф — органогенная горная порода, состоящая из растительных остатков и содержащая в пересчете на сухое вещество не более 50% минеральных веществ. Он образуется в условиях повышенной влажности и затрудненного доступа воздуха. Торф в естественном состоянии представляет собой более или менее одородную по составу и окраске массу черного или коричневого цвета различных оттенков с естественной влажностью 86—95%. Органогенные остатки в торфе не полностью разложившиеся продукты тканей растений в виде потерявшего клеточную структуру темного аморфного вещества (гумуса).

Торф используется как удобрение, а также в качестве топлива. Кроме непосредственного сжигания в котлах добытый тем или иным способом кусковой торф идет для газификации, а фрезерная крошка служит сырьем для изготовления бытового топлива — брикетов. Получающаяся в процессе газификации торфяная смола используется на специальных торфо-химических заводах для дальнейшей технологической переработки в высокоценные продукты: воск, пек, креолин, фенолы и др.

В меньшей мере малоразложившийся торф идет на изготовление язошшт и фасонной изоляции высокого качества. Из малоразложившегося сильновлагодоемого торфа изготавливают подстилку для скота, которая затем используется как удобрение.

В медицине также применяется торф: при грязевом лечении многих заболеваний.

В СССР добыча топливного воздушно-сухого торфа достигла 400 млн. т в год.

Урок №33.

Тема: Месторождения угля

Особенности образования месторождений углей

Для образования углей необходимы растительный материал, определенные климатические условия и рельеф поверхности, а также соответствующие накоплению растительного материала биохимические, палеогеографические и геотектонические условия.

В древних геологических образованиях органических веществ (особенно растительных) было мало, поэтому до сих пор еще не найдены угли кембрийского или достоверно силурийского возраста. Самый древний возраст углей — нижнедевонский, к нему относятся угли Барзасского месторождения, находящегося за северо-восточной границей Кузнецкого бассейна, угли Медвежьих островов в Баренцевом море и др.

Различают два типа накопления растительного материала: автохтонный и аллохтонный. В первом случае основная масса материнского вещества угля в форме растительных

остатков накапливалась на местах современного залегания твердых горючих ископаемых. При аллохтонном накоплении твердые продукты разложения растительного материала принесены извне. Вещество переносится водой и ветром. Различают два типа аллохтонии:

- 1) первичная аллохтония-материнское вещество, перенесенное извне, на месте отложения превратилось в твердые горючие ископаемые;
- 2) вторичная аллохтония уже образовавшиеся твердые горючие ископаемые перенесены в другое место, где они снова отложились.

Характер рельефа поверхности также важный фактор угленакопления. Накопление значительного количества растительных остатков возможно только в области пониженного рельефа с заболоченными площадями, наподобие современных торфяников. Играют определенную роль в формировании месторождений угля и биохимические-условия разложения растительного вещества. Разложение отмерших растений в аэробных условиях (окислительных) происходит быстро. В условиях повышенной влажности и стоячей воды растительны© остатки, главным образом под влиянием микроорганизмов (анаэробных бактерий), которые могут существовать без доступа воздуха,, превращаются в торф. Различают четыре типа разложения растительного вещества, каждый из которых отличается условиями отложения остатков растений: тление, перегнивание, оторфянение и гниение. Существуют органические вещества, трудно поддающиеся разложению. К ним относятся, например, смолы, воск и др., которые после всех процессов разложения остаются мало измененными, а впоследствии из них образуются специфические ископаемые-угли — липтобиолиты. Трудно разлагаются также наиболее устойчивые ткани высших растений: споры, кутикулы, коровые ткани. При тлении, перегнивании и оторфянении главная роль принадлежит аэробным микроорганизмам, а в процессе гниения — анаэробным.

В процессе формирования торфяных залежей огромное значение имеют палеогеографические условия. Процесс протекает и в условиях приморских низин, занятых речными долинами дряхлеющих рек, их дельтами, а также озерами, болотами, лагунами, нередко затопляемых мелководным морем, и в условиях континентальных равнин-платформ или межгорных котловин с озерно-болотным ландшафтом.

Угленакопление происходило в эпохи медленного и длительного' погружения суши, на фоне которого протекали вертикальные движения. Основной фактор, отражающий тектонические условия, — положение уровня грунтовых вод в торфянике, а также связанное* с ним положение уровня вод в бассейне седиментации.

Процесс углеобразования единый и стадийный: от торфов до км-менных углей и далее антрацитов. Бурые угли по сравнению с каменными углями содержат меньшее количество углерода и повышенной кислорода. Для них характерны бурая и очень редко черная черта, бурое окрашивание щелочи и густо-желтое до коричневатого окрашивание раствора азотной кислоты. Сложение бурых углей часто рыхлое, их

плотность изменяется от 0,8 до 1,25 г/см³. Они легко выветриваются и характеризуются развитием эпигенетических трещин.

Для разграничения бурых и каменных углей пользуются такими физическими свойствами, как черта, окрашивание раствора едкой щелочи (KOH) и кипящего раствора разбавленной азотной кислоты. Внешне каменные угли существенно отличаются от бурых: цвет их обычно черный; черта черная; плотность 1,26—1,35 г/см³. При повышении степени углефикации заметно изменяются цвет и отражательная способность основной массы, твердость, цвет и яркость люминесценции, а также химико-технологические свойства. Один из показателей степени углефикации — их блеск. Химико-технологические свойства каменных углей не только отличаются от свойств бурых, но и существенно разнятся между собой в пределах одной каменноугольной стадии, так как в ней встречаются угли различных генетических групп: гумусовые, сапропелевые и смешанного материала. Наиболее углефицированы антрациты. Цвет антрацитов черный с желтоватым (золотистым), иногда с сероватым оттенком. Некоторые антрациты серого цвета. Антрациты почти всегда блестящие, сравнительно однородные. Плотность антрацита 1,36—1,65 г/см³, твердость от 2 до 4. Выход (в %) летучих веществ менее 10, водорода до 3, углерода не менее 95, азота менее 1; температура воспламенения 500—600 °С. Кокс — порошокватый.

Урок №34.

Тема: Генетические типы промышленных угольных месторождений.

Под угленосной толщей понимается комплекс осадочных пород, содержащих угольные пласты. Обычно угольная толща представлена монотонным чередованием песчано-глинистых осадков от мелко-зернистого материала до грубозернистого и галечного включительно. Слои известняков редки и в большинстве случаев не достигают значительной мощности. Наблюдаются прослои известняков, которые нередко играют роль маркирующих горизонтов. Во многих случаях установлено циклическое развитие разреза: многократное повторение сходных типов пород, чередующихся в определенной последовательности.

Среди угленосных отложений выделяются типы — геосинклинальный, платформенный и переходный от геосинклинального к платформенному. Платформенные участки земной коры характеризуются сравнительно небольшой мощностью угленосных толщ — от единиц и десятков метров до первых сотен метров, а в геосинклинальных условиях — до нескольких тысяч метров.

Г. А. Ивановым предложена генетическая классификация угленосных формаций по особенностям геотектонического режима и палеогеографической обстановки

Угольный пласт. Под угольным пластом понимают комплекс осадочных слоев органического и неорганического происхождения, распространенных на значительной площади и заключенных между более или менее параллельными поверхностями напластования пород, называемыми кровлей и почвой. Угольные пласты обычно сложены несколькими слоями угля, разделенными углистыми горными породами, т. е. прослойками «пустой» породы. При отсутствии этих прослоек угольный пласт слагается сплошной массой угля. В первом случае пласт называется сложным, во втором — простым. Часть угольного пласта, заключенная между двумя породными прослоями в пластах сложного строения, называется пачкой.

В геосинклинальных бассейнах число угольных пластов иногда исчисляется сотнями, а в платформенных выражается лишь немногими единицами. Мощность угольных пластов и пропластков весьма различна и колеблется от очень тонких (несколько миллиметров) до мощных (десятки метров) и сверхмощных (до 200—300 м). Различают так называемые общие мощности угольных пластов (включая и все прослои пустых пород) от их кровли до почвы и рабочую мощность, т. е. минимальную предельную, при которой в данных условиях (технических, экономических и др.) пласт выгодно разрабатывать.

Урок №35.

Тема: Месторождения сланцев

ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ Общие сведения

Под горючими сланцами понимают глинистые или известняковые битуминозные породы, легко загорающиеся от спички и горящие коптящим пламенем с характерным запахом битумов. Часть горючих сланцев содержит готовый битум, пропитывающий породы. Большая часть собственно горючих сланцев относится к сапропелитовым образованиям. Сланцы, как и сапропелиты, образовались из водорослей и планктона в пресноводных и морских водоемах типа прибрежно-морских лагун и заливов. Их можно рассматривать как зольные разновидности сапропелитов. На дне водоемов отмерший материал (фитопланктон, остатки животных организмов и наземных растений) подвергался разложению, большей частью без доступа воздуха. Образовавшийся сапропель смешивался с минеральными веществами и, погружаясь под тяжестью вышележащих слоев пород, постепенно уплотнялся и затвердевал.

Горючие сланцы залегают в осадочных породах в виде отдельных слоев, ■ переслаивающихся с другими, осадочными породами. Число слоев иногда бывает достаточно велико; например, в залежах кеи-дерлыкских сланцев известно 50 слоев, в ухтинских 59.

Горючие сланцы можно разделить на две группы: 1) пропитанные готовыми битумами, 2) пиробитуминозные, или собственно горючие сланцы, не заключающие готовых битумов, но образующие их при нагревании при сухой перегонке. Встречаются в природе и переходные разновидности.

Применяются горючие сланцы как топливо и в качестве химического сырья. Сланцы с теплотой сгорания (на сухое топливо) свыше 6300 Дж/кг используются в качестве топлива в стационарных и подвижных установках. Лучший тепловой эффект достигается при сжигании сланцев в пылевидном состоянии или в смеси с антрацитовым штыбом (т. е. мелкой фракцией антрацита). Главная масса горючих сланцев используется в качестве энергетического топлива, а также перерабатывается термическим способом на газообразное и жидкое топливо, смазочные материалы и разнообразные химикаты.

Закономерности размещения и описание месторождений горючих сланцев. Горючие сланцы известны на значительной территории СССР: в Прибалтике, на востоке и северо-востоке Восточно-Европейской платформы, в Казахстане и Сибири. Наиболее изучены Прибалтийский бассейн и Поволжский район; значительные запасы содержит Оленёкский сланцевый бассейн на северо-востоке Сибирской платформы.

Среди месторождений горючих сланцев выделяют два типа:

1) образовавшиеся в морских условиях, но парагенетически связанные с угленосными фациями; площади распространения сланцев этого типа исчисляются тысячами квадратных километров (Прибалтийский и Оленёкский бассейны, месторождения Поволжья и Заволжья);

2) залежи среди угленосных формаций или залегающие совместно с угольными пластами, масштабы их небольшие.

Сланцевые бассейны связаны с крупными синеклизами.

Прибалтийский сланцевый бассейн занимает переходную зону от северо-западной окраины Восточно-Европейской платформы к южному склону Скандинавского щита. Слагающие фундамент бассейна кристаллические породы залегают на глубине 110 м у г. Таллинн и погружаются к югу, а залегающие на них с разрывом осадочно-нижнепалеозойские породы представлены отложениями кембрия, отложенного морскими породами мощностью 100—250 м, и ордовика, представленного почти исключительно известняками, и лишь в нижней части разреза — песчаниками и сланцами общей мощностью 880—200 м, с которыми и связана сланценоность. Ордовик выражен всеми тремя отделами, которым соответствуют эландская, вируская и харьюская серии. Эландская серия сложена песчаниками, перемежающимися с прослоями конгломератов, сланцами и глинами,

В верхней части серии находится горизонт дикионемовых сланцев (или тирюсалуцкая пачка) мощностью до 5 м (в северной части Эстонии). В южной и восточной частях бассейна он выклинивается. Вируская серия полностью сложена известняками, в средней части серии выделяется кукурузевский горизонт, содержащий промышленные пласты горючих сланцев — кукурузитов, и выхвинский (невский) с отдельными пачками кукурузитов.

Харьюская серия в основании сложена мелкокристаллическими известняками, не содержит прослоев горючих или диктионемонных сланцев. В южной части бассейна развиты карбонатные породы силура, на востоке — среднедевонские мергели, доломиты и глины; поре́ды ордовика покрывают их трансгрессивно.

Палеозойские породы бассейна залегают спокойно, со слабым наклоном на юг. В северной части они вскрываются в неглубоких карьерах, в южной (на широте Чудского озера) погружаются на глубину до 100 м и глубже. В двух основных направлениях — в северо-восточном и северо-западном — палеозойские отложения пересекаются вертикальными трещинами. С системой трещин северо-восточного направления связано развитие редко встречающихся сбросов амплитудой не более 10—15 м. По трещинам других направлений сбросы не установлены. Нередко наблюдаются крупные закарстованные зоны шириной до 200 м, простирающиеся до 20 км и более. Глубина развития карстов различная, максимальная — более 100 м, что значительно ниже уровня моря.

В отложениях ордовикского возраста на территории Эстонии и Ленинградской обл. развиты две разновидности горючих сланцев: диктионемовые нижнеордовикского и кукерситы среднеордовикского возраста.

В настоящее время широко используются только кукерситы.

Кукерсит представляет собой мергелистую породу желто-бурого цвета, обогащенную органическим веществом. Главными компонентами его служат образующие очень тонкую смесь органическое вещество (кероген), тонкозернистый обломочный (терригенный) материал и карбонат кальция. Содержание керогена в кукерситах 20—60%, карбоната кальция 15—60%, терригенного материала иногда 50%.

Кукерситы содержатся в кукрузеском и выхвинском горизонтах. Промышленное значение имеют сланцы кукрузеского горизонта, в котором разрабатываются пласты нижней части, так называемая промышленная пачка, мощность которой 15—30 м. Строение промышленной пачки сложное. На месторождении в Эстонии в ней выделяется шесть сланцевых слоев, обозначенных буквами; она же на месторождениях

Ленинградской обл. разделяется на четыре слоя, обозначенных цифрами. Число и мощность слоев и всей пачки на месторождении непостоянны. Наибольшая мощность — в центральной части бассейна в районе Кохтла-Ярве и р. Нарвы. К периферии бассейна, особенно в восточном направлении, число слоев и общая мощность промышленной пачки сланцев уменьшаются. Считается, что кукерсит произошел из остатков планктона, обильно заселявшего ордовикское море.

Качество сланцев зависит от количественного содержания в них органической части, что выражается и в изменении плотности от 1,2 до 2,7 г/см³. В свежем, только что добытом сланце 15—20% влаги. После высушивания на воздухе содержание ее падает до 2—6%. Зольность в отдельных слоях 36—58%, серы 0,67—3% (в зависимости от

обилия пиритсодержащих прожилков). Теплота сгорания сухого сланца от 7068—8663 до 20 160 Дж/кг — для нижних пачек и И 424—13 860 Дж/кг для верхних. Выход смолы на органическую массу составляет 60—67%, в пересчете на газ 12%, подсмольной воды 8% и полукокса 20%. При перегонке выделяется повышенное количество кислот и фенолов.

Перегонка сланцевой смолы дает разнообразные продукты, в том числе авиационный бензин, лигроин, дизельное топливо, продукты для получения пластмасс, дорожные битумы и др. Оставшаяся после сжигания минеральная часть горючих сланцев характеризуется вяжущими свойствами, способностью нейтрализовать кислотность почв и частично используется для изготовления строительных (в том числе вяжущих) материалов, минеральной ваты, пенобетона, а также материалов для удобрения почв.

Урок №36.

Тема: Месторождения природного газа, нефти

ГАЗООБРАЗНЫЕ И ЖИДКИЕ ГОРЮЧИЕ ИСКОПАЕМЫЕ

Основные сведения о природных газах

Газы, выделяющиеся в природных условиях из недр земли или скапливающиеся на глубине в пористых горных породах, называются природными или естественными. В составе природных газов установлены главным образом следующие химические соединения и элементы: углеводородные соединения, углекислый газ, азот, кислород, сероводород, водород, оксид углерода, сернистый газ, пары воды, редкие (инертные) газы: тяжелые — аргон, ксенон, криптон и легкие неон и гелий. Среди газов угольных месторождений обычно преобладают метановые, реже тяжелые углеводороды и, главным образом, этан.; Углеводородные газы образуют в горных породах крупные скопления или залежи, позволяющие извлекать на поверхность миллионы кубических метров в сутки иногда в течение многих десятков лет. Поэтому в практике часто под природными или естественными газами понимают именно горючие газы. По химическому составу горючие газы представляют собой горючую смесь отдельных газообразных углеводородных соединений, подразделяемых на две основные группы: 1) алканы, или насыщенные предельные углеводороды, с общей формулой C_nH_{2n+2} , где n — число от 1 до 5; в атмосферных условиях газообразными углеводородами являются метан (CH_4), этан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}) и при некоторых условиях пентан (C_5H_{12}); 2) алкены, или ненасыщенные непредельные углеводороды, с общей формулой C_nH_{2n} . НЕФТЬ

Происхождение нефти

Под нефтью понимают природную маслянистую горючую жидкость, состоящую из смеси жидких и газообразных углеводородов. В настоящее время нефть и ее продукты

потребляются всеми отраслями тяжелой и легкой промышленности, включая и пищевую. Из нефти и ее продуктов изготавливают текстильные волокна, органические кислоты, пластмассы, синтетические жиры, взрывчатые вещества и т. п. Нефтяная и газовая промышленность должна давать топливо не только для моторов и коммунально-бытовых нужд, но и для промышленных предприятий, электростанций, железнодорожного и водного транспорта.

Проблема происхождения нефти и ее месторождений охватывает целый комплекс вопросов, главные из которых: 1) природа исходного материала и условия превращения его в нефтяные углеводороды; 2) причины концентрации колоссальных количеств нефти в небольших участках земной коры. Для объяснения происхождения нефти было предложено большое количество различных гипотез; все они разделяются на две группы: гипотезы органического и гипотезы неорганического происхождения нефти. Для теорий органического происхождения нефтяных углеводородов характерно четыре основных — направления. Первое заключается в том, что в процессе построения своих тел, клеточных оболочек, различных структурных элементов клетки растения и животные, в особенности микробы, синтезируют* углеводороды. Эти углеводороды могут быть разрушены микробами после отмирания организмов, но относительная скорость их расщепления меньше, чем для других компонентов. При недостатке кислорода углеводородные соединения могут сохраняться, образуя таким образом непосредственно материал для битумо- и нефтенакпления. Однако количественное содержание углеводородов в организмах ничтожно мало. Сопоставляя числа залежей нефти с теми количествами живой органики, которые необходимы для ее образования этим путем, приходим к заключению, что вряд ли с этим процессом связаны скопления огромных залежей нефти.

Второе предположение — происхождение углеводородов из жиров. Эта точка зрения впервые была выдвинута в 1888 г. немецким химиком К. Энглером и геологически обоснована Г. Гефером и названа именами этих ученых. Основная ошибка этого предположения — слишком высокие температуры, при которых могли бы сохраниться парфирины, гемины и другие малоустойчивые вещества (до 200°C). Кроме того, чтобы объяснить широкое развитие нефтеносных отложений, необходимо доказать возможность массовой гибели животных в региональном масштабе и в различные эпохи геологической истории. А это сделать трудно. Рассматриваемая теория была поддержана Г. Л. Стадниковым, согласно воззрениям которого исходный сапропелевый и сапропелево-гумусовый материалы в условиях бактериального разложения в солоновато-водных бассейнах превратились в так называемую первичную нефть — густую, вязкую жидкость большой плотности. При превращении первичной нефти в природную необходим приток углеводородных газов, которые гидрогенизируют полимеризаты первичной нефти. Эти газы, по мнению Г. Л. Стадникова, поступают из глубин, на которых пары воды вследствие высокой температуры могут разлагаться, выделяя водород. Недостаток этой гипотезы — допущение спорадических скоплений

больших масс растительности, что мало соответствует региональным распределениям углеводов и родственных им продуктов в природе.

Третье предположение о происхождении углеводов из азотистых веществ ранее других (1923 г.) высказал Гехт, затем П. Траск и Патнод, а позже она была поддержана В. П. Батуриным. Происхождение углеводов эти исследователи связывали с аккумуляцией значительных количеств азота в телах бактерий, где он находился главным образом в виде сложных белковых соединений.

Четвертое предположение — образование водорода биологическим путем, как следствие разложения целлюлозы микроорганизмами, впервые пытался объяснить В. Б. Порфирьев. Он высказал предположение о возможном образовании углеводов из углеводов. Позднее В. Б. Порфирьев стал сторонником неорганического происхождения нефти. «Углеводной» гипотезы придерживаются Хекфорд, Берль, О. А. Радченко, В. А. Успенский и др., которые доказали возможность образования углеводов из углеводов в лабораторных условиях. Установлено превращение углеводов в нефтеподобные продукты при восстановлении их водородом. Однако Г. Л. Стадии-ков, В. А. Соколов и др. возражают против таких превращений и природных условиях.

Урок №37.

Тема: Обязательная контрольная работа

Практические занятия.

1. Урок №1. Тема: Изучение основных форм рудного тела.
2. Урок №2. Тема: Изучение геологических карт и определение на карте предпосылок полезных ископаемых
3. Урок №3. Тема: Изучение схем месторождений в геосиклинарных и платформенных областях
4. Урок №4. Тема: Магматические, карбонатитные месторождения
5. Урок №5. Тема: Пегматитовые, альбетит-грейзеновые месторождения
6. Урок №6. Тема: Скарновые, колчедановые, гидротермальные месторождения
7. Урок №7. Тема: Описание структуры различных выветренных пород
8. Урок №8. Тема: Разработка схем механического и химического дифференцирования веществ по экзогенным процессам.
9. Урок №9. Тема: Опишите геологическое строение карт и разрезов метаморфических месторождений.
10. Урок №10. Тема: Структура руды по видам, их рассмотрение и описание. Урок №1. Тема:
11. Урок №11. Тема: Железо
12. Урок №12. Тема: Марганец
13. Урок №13. Тема: Хром
14. Урок №14. Тема: Титан
15. Урок №15. Тема: Ванадий

16. Урок №16. Тема: Вольфрам
17. Урок №17. Тема: Кобальт
18. Урок №18. Тема: Никел, молибден
19. Урок №19. Тема: Медь, свинец
20. Урок №20. Тема: Цинк
21. Урок №21. Тема: Олово
22. Урок №22. Тема: Висмут, мышьяк
23. Урок №23. Тема: Сурьма, ртуть
24. Урок №24. Тема: Алюминий, магний
25. Урок №25. Тема: Золото, серебро
26. Урок №26. Тема: Платина и ее разновидности
27. Урок №27. Тема: Уран, торий
28. Урок №28. Тема: Литий, цезий
29. Урок №29. Тема: Рубидий, цирконий, гафний
30. Урок №30. Тема: Бериллий, рубидий, тантал, кадмий, рений, ниобий, индий, селен, теллур
31. Урок №31. Тема: Бериллий, рубидий, тантал, кадмий, рений, ниобий, индий, селен, теллур
32. Урок №32. Тема: Стронций, соли, минеральные пигменты
33. Урок №33. Тема: Фосфор, сера, мел
34. Урок №34. Тема: Алмаз, графит, слюды, асбест
35. Урок №35. Тема: Алмаз, графит, слюды, асбест
36. Урок №36. Тема: Глиноземное сырье,
37. Урок №37. Тема: Пьезооптическое сырье, цеолиты
38. Урок №38. Тема: Тальк, флюорит, барит, корунд
39. Урок №39. Тема: Гипс, ангидрит, известняки
40. Урок №40. Тема: Доломиты, мергели, трепел.
41. Урок №41. Тема: Зачет
42. Урок №42. Тема: Диатомиты, опока, спонголиты, песок и гравий, песчаники, магматические и метаморфические породы
43. Урок №43. Тема: Драгоценные камни. Ювелирные камни.
44. Урок №44. Тема: Технические камни. Генетические типы промышленных месторождений.
45. Урок №45. Тема: Торфяные месторождения.
46. Урок №46. Тема: Месторождения угля
47. Урок №47. Тема: Генетические типы промышленных угольных месторождений.
48. Урок №48. Тема: Торфяные месторождения
49. Урок №49. Тема: Месторождения природного газа, нефти
50. Урок №50. Зачет

