

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

П.В. Панкратьев, И.В. Куделина

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования - программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 05.06.01 Науки о Земле

Оренбург
2020

УДК 553 (075.8)

ББК 26.34 я 73

П 16

Рецензент - кандидат геолого–минералогических наук, доцент
А.П.Бутолин

П16 Панкратьев, П.В.
Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минералогия [Электронный ресурс] : учебное пособие для обучающихся по образовательной программе высшего образования - программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 05.06.01 Науки о Земле / П.В. Панкратьев, И.В. Куделина; М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург : ОГУ. - 2020. - 236 с. - Загл. с тит. экрана.
ISBN 978-5-7410-2453-9

В учебном пособии приведены общие сведения о закономерностях образования месторождений полезных ископаемых, стадийности проведения геологоразведочных работ, основных геолого-промышленных типах месторождений полезных ископаемых, основы минералогии.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по образовательной программе высшего образования - программе подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре 05.06.01 Науки о Земле.

УДК 553 (075.8)

ББК 26.34 я 73

ISBN 978-5-7410-2453-9

© Панкратьев П.В.,
Куделина И.В., 2020
© ОГУ, 2020

Содержание

Введение.....	5
1 Виды полезных ископаемых и комплекс требований к их изученности	7
2 Закономерности образования месторождений полезных ископаемых	16
2.1 Общие закономерности формирования месторождений	17
2.1.1 Основные геодинамические обстановки	17
2.2 Глобальные геодинамические условия образований месторождений полезных ископаемых	19
2.3 Генетические типы месторождений полезных ископаемых	19
2.4 Глубина образования месторождений	19
2.5 Зональность рудных районов и месторождений.....	23
2.6 Конвергентность месторождений.....	26
2.7 Длительность формирования месторождений	27
2.8 Геотектонические обстановки	31
3 Стадийность геологоразведочных работ	44
4 Геологические основы поисков и разведки полезных ископаемых	67
4.4 Прогнозные критерии рудоносности	76
4.5 Поисковые критерии рудоносности	82
4.6 Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых	89
4.7 Основные способы подсчета запасов полезных ископаемых	97
5 Геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых.....	126
5.1 Понятие о геолого-промышленных типах месторождений полезных ископаемых	127
5.2 Принципы классификации геолого-промышленных типов месторождений полезных ископаемых	129
5.3 Основные геолого-промышленные типы	133
5.3.1 Геолого-промышленные типы месторождений древних щитов и платформ	133
5.3.2 Геолого-промышленные типы месторождений горноскладчатых поясов	136
5.3.3 Геолого-промышленные типы месторождений складчатых и активизированных областей.....	144
5.3.4 Геолого-промышленные типы месторождений активизированных платформ	151
5.3.5 Геолого-промышленные типы месторождений платформ	157
6 Общие вопросы минерагении	163
6.1 Положение минерагении среди частных геологических дисциплин	163
6.2 Мегапровинции, провинции и субпровинции платформенных областей.....	175
6.3 Месторождения, образовавшиеся в континентальных горячих точках, рифтах и авлакогенах.....	184
6.4 Месторождения полезных ископаемых магматических дуг	190

6.5 Месторождения зон субдукции	209
6.6 Месторождения пассивных континентов окраин и внутренних бассейнов	213
6.7 Месторождения, формирующиеся в обстановках столкновения плит....	220
Список использованных источников	235

Введение

Учение о поисках и разведке есть прикладная геологическая наука, изучающая условия нахождения и способы наиболее эффективного выявления промышленных месторождений полезных ископаемых.

Наука эта относится к геологическому циклу, а именно к прикладной (экономической) геологии, наряду с учением о месторождениях полезных ископаемых, гидрогеологией и инженерной геологией. Принадлежность к геологическому циклу наук доказывается не только единым общим для всей геологии полевым методом исследований (геологическая съемка), но и направляющей ролью геологии во всех геологоразведочных работах при явно подчиненном значении горномеханических дисциплин и экономики.

Основным, ведущим методом (способом познания) данной науки является «оценка». Оценивается вся геолого-минералогическая обстановка и соотношения между геологическими, горнотехническими, технологическими и экономическими данными для установления промышленного типа найденного месторождения, а затем для выбора наиболее целесообразных способов поисков, разведки, изучения и подсчета запасов месторождений полезных ископаемых. Это значит, что каждый геологический факт, полученный в любой момент геологоразведочных работ, должен анализироваться с точки зрения прямого или косвенного указания на наличие в данном пункте промышленного месторождения полезного ископаемого.

Таким образом, оценка месторождений является не только завершающим актом в геологоразведочной работе, но и основным методом всей поисково-разведочной науки. Оценочная сущность последней, особенно в плановом хозяйстве, усугубляется необходимостью комплексного подхода как к минеральному сырью, так и к самому производству разведки для решения всех поставленных задач.

Комплексный подход к минеральному сырью заключается в том, что в каждом месторождении полезного ископаемого стремятся, по возможности,

извлекать все полезные элементы и минералы. Идеалом считается такое предприятие, которое не только извлекает из руды все полезные элементы, но и использует всю добытую горную массу. Комплексность разведочных работ выражается в использовании выработок для гидрогеологических, горнотехнических, инженерно-геологических и других наблюдений.

Данный курс построен, исходя из предположения, что месторождение проходит все стадии изучения от рекогносцировочных поисков до эксплуатационной разведки, хотя в практике часто некоторые месторождения известны давно или обнаруживаются случайно, а разведываются попутно.

Цель работы: дать представление о закономерностях образования месторождений полезных ископаемых, стадийности проведения геологоразведочных работ, основных геолого-промышленных типах месторождений полезных ископаемых. Краткое изложение теоретической части позволит лучшему восприятию приведенного материала.

1 Виды полезных ископаемых и комплекс требований к их изученности

Полезными ископаемыми называются природные минеральные вещества в земной коре, которые при существующем уровне развития производительных сил пригодны для промышленного использования. Извлеченные из недр, они представляют собой минеральное сырье.

По содержанию и назначению твердые полезные ископаемые разделяются на рудные, нерудные и горючие, Особую группу образуют жидкие и газообразные полезные ископаемые.

Рудные полезные ископаемые содержат минералы или минеральные соединения, которые при существующем уровне развития техники и экономики служат источниками получения различных химических соединений или элементов (металлические, химические и агрономические руды).

Нерудными называются полезные ископаемые, продуктами переработки которых являются минералы или кристаллы (абразивы, диэлектрики, драгоценные или поделочные камни, пьезо- и оптические минералы), а также полезные горные породы, используемые промышленностью без существенной переработки (флюсы, огнеупоры, строительные и керамические материалы).

К числу **твердых горючих** полезных ископаемых относятся угли, горючие сланцы, асфальтиты и озокериты.

Среди **жидких и газообразных** полезных ископаемых выделяются: горючие полезные ископаемые (нефть, горючие газы); пресные, минеральные, соленые и нефтяные воды и инертные газы.

Месторождениями полезных ископаемых называются пространственно-обособленные скопления минеральных веществ в земной коре, которые в количественном и качественном отношении отвечают современным требованиям промышленности, по совокупности природных условий пригодны для промышленного использования и могут

служить минерально-сырьевой базой самостоятельного участка горного предприятия (рудника, карьера, шахты). Минеральные скопления в земной коре пригодны для промышленного использования только при условии экономической целесообразности их добычи и переработки. Важнейшими критериями промышленной ценности минеральных скоплений являются:

- качество и количество минерального сырья в недрах;
- технологические свойства минерального сырья;
- горно-геологические условия эксплуатации месторождения.
- географо-экономическое положение месторождения.

Совокупность перечисленных критериев определяет комплекс требований к изученности запасов минерального сырья в недрах.

Качество минерального сырья зависит от его химических, физических и технических свойств, совокупностью которых определяется способность полезного ископаемого удовлетворять потребности общественного производства, а также от условий его промышленного использования и технологии переработки.

Качество металлических, химических и агрономических руд определяется их вещественным (химическим и минеральным) составом и характеризуется содержаниями полезных компонентов и вредных примесей.

Содержание полезных компонентов (элементов или полезных минералов) выражается процентами (от массы) в расчете на воздушно-сухую руду. Выбор единиц измерения зависит от вещественного состава, условий технологической переработки и дальнейшего использования руд. Качество руд определяется процентным содержанием металлов (Fe, Mn, Mo, Co, Ni, Cu, Pb, Zn, Sn, Hg, Sb, As, Au, Ag, Pt) или окислов соответствующих элементов (WO_3 , V_2O_5 , LiO_2 , BeO, Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , TiO_2 , ZrO , K_2G , B_2O_3 , Cr_2O_3 , SrO). Качество рудоносных песков в россыпях выражается обычно в весовых единицах полезных компонентов на 1 м^3 песков.

Вредные примеси оказывают существенное влияние на ;оценку качества некоторых руд. Для руд железа и марганца вредными примесями являются сера и фосфор, для бокситов — кремнезем, сера, для золотых руд — мышьяк, для силикатных никелевых руд — медь, для фосфоритов — магний, для серных руд — общий углерод, битумы, мышьяк и селен.

По содержанию полезного компонента с учетом требований промышленности и существующих технологических схем их переработки выделяются богатые, рядовые и бедные руд (таблица 1). Богатые руды обычно хорошо перерабатываются и требуют меньшего числа обогатительных операций по сравнению с рядовыми и бедными рудами. Иногда они поступают непосредственно в металлургический передел, минуя стадию обогащения (например, богатые мартитовые или сидеритовые руды с содержанием железа более 50 %).

Качество полезных минералов и кристаллов определяется содержаниями полезных минералов и совокупностью показателей, характеризующих их специфические физические свойства (прочность, гибкость, длину волокна и кислоторастворимость для асбеста; размер пластинок, их ровность, наличие проколов и термостойкость для слюд; оптические свойства, размеры, качество кристаллов для пьезооптического сырья и т. д.).

Качество полезных горных пород оценивается по совокупности тех технических свойств, которыми определяется их промышленная ценность.

Для оценки качества горючих полезных ископаемых первостепенное значение имеют их теплотворная способность и ряд других специфических свойств.

Качество минерального сырья существенно повышается, когда в его составе присутствуют несколько полезных компонентов. Если извлекаемые полезные компоненты сопоставимы по своей ценности, то минеральное сырье называется комплексным

Кроме комплекса основных полезных компонентов в составе минерального сырья часто присутствуют многочисленные сопутствующие полезные компоненты в виде рассеянных элементов или элементов,

образующих собственные минеральные формы.

Таблица 1 - Группировка минерального сырья по качеству

Минеральное сырье	Ведущий полезный компонент	Качественная характеристика минерального сырья (руд) по содержанию ведущего полезного компонента, %		
		Богатые	Рядовые	Бедные
Железо	Fe	>50	50-30	30-22
Флюорит	CaF ₂	>50	35-50	35-14
Хромит	Cr ₂ CO ₃	>45	30-45	30-24
Фосфориты	P ₂ O ₅	>25	16-25	16-8
Сурьма	Sb	10n*	n	0,1n
Полиметаллы	Pb, Zn	n	0,1n	0,1n
Медь, олово	Cu, Sn			
Молибден	Mo			
Вольфрамит, ртуть	WO ₃ Hg			
Кобальт, ниобий	Co, Nb ₂ O ₅			
Литий, уран	Li ₂ O, U	0,1n-n	0,1n	0,01n
Редкие земли	TR	0,1n	0,01n	0,01n
Бериллий, тантал	BeO, Ta ₂ O ₅			
Золото	Au	>15г/т	5-15г/т	N г/т
Алмазы	алмаз	>1кар**/т	0,1n кар/т	0,1n кар/т
*n=1,2,3,.....				
**1 кар=0,2				

С целью эффективного использования минерального сырья в народном хозяйстве для каждого его вида промышленностью устанавливаются качественные показатели, при которых экономически целесообразно использование данного вида сырья

Количество минерального сырья определяется его массой, Промышленное использование находящегося в недрах минерального сырья целесообразно только в тех случаях, когда его количество превышает некоторый минимальный предел.

Запасом полезного ископаемого называется его количество в недрах, заключенное в пределах геометризованных контуров и отвечающее по своему качеству современным требованиям промышленности. Запасы месторождений

полезных ископаемых составляют наиболее изученную часть общих ресурсов минерального сырья в недрах. Для тех видов минерального сырья, которые после добычи подвергаются процессу обогащения, обычно подсчитываются запасы не только руд, но и полезных компонентов в них. В зависимости от вида минерального сырья и масштабов полезной минерализации запасы полезных ископаемых в отдельных месторождениях изменяются от миллиардов тонн до килограммов. Запасы россыпных месторождений учитываются кубическими метрами рудоносных песков, а полезных компонентов в них — единицами массы. Масштабы месторождений полезных ископаемых определяются запасами минерального сырья. В зависимости от масштабов выделяются уникальные, крупные, средние и мелкие месторождения (таблица 2).

Уникальные месторождения во всем мире единичны. Крупные месторождения насчитываются десятками, ими определяются минерально-сырьевые базы ведущих предприятий горнорудной промышленности. Средние месторождения служат минерально-сырьевой базой рядовых предприятий.

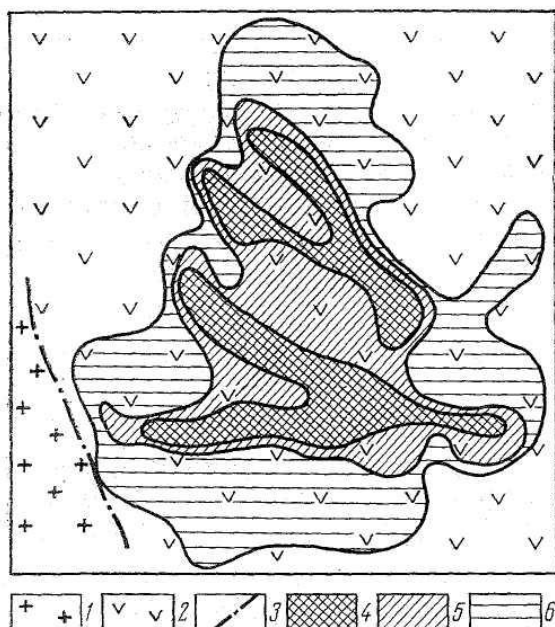
Мелкие месторождения не имеют самостоятельного промышленного значения, поэтому горные предприятия могут создаваться только на базе нескольких таких месторождений.

Таблица 2 - Группировка месторождений некоторых твердых полезных ископаемых по масштабу

Полезные ископаемые	Масштаб месторождений, т			
	уникальные	крупные	средние	мелкие
Железные руды	$>10^9$	$10^8(10-3)$	$10^7(30-5)$	$<5 \times 10^7$
Апатиты	-	$>2 \times 10^8$	$10^7(20-5)$	$<5 \times 10^7$
Марганцевые руды	$>2,5 \times 10^8$	$10^7(25-7,5)$	$10^7(7,5-2,5)$	$<2,5 \times 10^7$
Алюминиевые руды	$>2 \times 10^8$	$10^8(2-1)$	$10^7(10-2,5)$	$<2,5 \times 10^7$
Медь	$>5 \times 10^6$	$10^6(5-1)$	$10^5(10-1)$	$<1 \times 10^5$
Свинец	$>1 \times 10^6$	$10^5(10-3)$	$10^5(3-1)$	$<1 \times 10^5$
Молибден	$>1 \times 10^5$	$10^4(10-2)$	$10^3(20-5)$	$<5 \times 10^3$
Олово	$>5 \times 10^4$	$10^4(5-1,5)$	$10^3(15-3)$	$<3 \times 10^3$
Сурьма	-	$>3 \cdot 10^4$	$10^4(3-1)$	$<1 \times 10^4$
Ртуть	$>1,5 \times 10^4$	$10^3(15-3)$	$10^3(3-1)$	$<1 \times 10^3$
Золото	$>1 \times 10^2$	$10(10-5)$	$10(5-1)$	<10
Исландский шпат	-	>1	$1 \cdot 10^{-1}$	$<10^{-1}$

Качественная и количественная характеристики запасов полезных ископаемых тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены. Изменение качественной характеристики приводит к изменению запасов полезных компонентов и полезной горной массы. Чем меньше установленное предельное содержание металла, тем больше размеры залежей, запасы руды и запасы металла. Повышение нижнего предела содержания металла улучшает качество руды, но приводит к сокращению размеров залежей и к уменьшению суммарных запасов (рисунок 1).

Сведения о содержаниях полезных компонентов без упоминания опробованных мощностей, на которых эти содержания распространяются, не имеют практического смысла. В отрыве друг от друга любой из упомянутых показателей не позволяет высказать даже самого общего суждения о промышленной ценности разведываемого минерального скопления.



1 – граниты; 2 – монзониты; 3 – тектоническое нарушение; 4 – рудные скопления, оконтуренные по содержанию условного металла 3 %; 5 – то же, по содержанию 1 %; 6 - то же, по содержанию 0,5 %. Среднее содержание условного металла в контуре 4-5 %, площадной запас 1600 ед.; в контуре 4+5 – 2,9 %, площадной запас 2650 ед.; в контуре 4+5+6 – 1,5 %, площадной запас 4720 ед.

Рисунок 1 – Изменение площадных запасов штокверкового

месторождения и качества руд в зависимости от оконтуривания по различным предельным содержаниям металла.

Единство и взаимообусловленность качественной и количественной характеристик минерального сырья требуют при оценке месторождений их одновременного учета. Наиболее ценными для народного хозяйства оказываются не те месторождения, которые содержат самые богатые руды, а те, которые обеспечивают максимальные масштабы производства и минимальную себестоимость продукции. Чаще всего к ним относятся крупные месторождения рядовых руд.

Технологические свойства минерального сырья определяют возможность и экономическую целесообразность его переработки с целью извлечения всех полезных компонентов.

Технологические свойства минерального сырья зависят от совокупности качественных показателей, из которых кроме содержания полезных компонентов и вредных примесей первостепенное значение имеют:

— минеральный состав сырья, распределение полезных компонентов и вредных примесей по отдельным минералам, формы размеры полезных минералов, характер их сростаний друг с другом, с породообразующими и жильными минералами, текстуры и структуры минеральных агрегатов;

— физические свойства, минерального сырья и слагающих его полезных минералов, их твердость, хрупкость, удельные массы;

— химический и минеральный состав вмещающих пород и жильной массы.

Минеральным составом сырья определяется комплекс содержащихся в нем полезных компонентов, а от распределения полезных компонентов по минеральным составляющим зависят технологические схемы и технико-экономические показатели его переработки. Например, сульфиды молибдена и сурьмы хорошо флотировались, а сурьмяные и молибденовые охры с трудом извлекаются физическими методами или полностью теряются при обогащении окисленных руд. Олово, связанное со станнином, в отличие от касситерита, не поддается извлечению при переработке оловянных руд. Железо, связанное с

магнетитом, полностью выплавляется из руд, в то время как железо, заключенное в силикатах, остается в шлаках.

От форм и размеров рудных минералов, характера их сочетаний, текстур и структур минеральных агрегатов зависит оптимальная степень дробления руд, обеспечивающая их вскрытие и определяющая показатели извлечения полезных компонентов в соответствующие концентраты. Тонковкрапленные руды с тесным взаимным проращением отдельных минералов или руды с колломорфными структурами отличаются трудной обогатимостью. Они требуют весьма тонкого измельчения, в результате чего резко повышается количество шлама в пульпе, снижаются показатели извлечения и ухудшается качество концентратов.

Влияние состава вмещающих пород или жильных масс особенно отчетливо проявляется при гидрометаллургическом переделе руд. Так, повышенная карбонатность пород снижает эффективность кислотных методов выщелачивания, повышая расход кислоты на тонну перерабатываемой руды.

Горно-геологические условия эксплуатации месторождения определяют возможность и экономическую целесообразность его разработки с учетом современного состояния горной технологии. Горно-геологические условия эксплуатации зависят от совокупности частных условий, из которых помимо запасов минерального сырья главное значение имеют:

— размеры, морфологические особенности, строение и условия залегания тел полезных ископаемых, определяющие наиболее целесообразные способы их разработки;

— продуктивность месторождения, характеризующая степень сосредоточения полезного ископаемого в отдельных телах и месторождении в целом. Продуктивность обычно выражается удельным запасом полезного ископаемого, приходящимся на единицу площади или на один метр углубки месторождения;

— гидрогеологические условия месторождения;

— физико-механические свойства полезных ископаемых и вмещающих пород, их устойчивость, трещиноватость, крепость, твердости буримость,

кусковатость, влажность и др.;

— факторы, осложняющие эксплуатацию месторождения и требующие проведения специальных мероприятий: развитие карста, повышенная газоносность месторождения, склонность пород к оплыванию в увлажненном состоянии или к самовозгоранию и др.

Совокупным влиянием перечисленных условий определяются основные технико-экономические показатели горнодобывающих работ, себестоимость добычи тонны минерального сырья и полезных компонентов с учетом их потерь и разубоживания руд в процессе отработки месторождения.

Географо-экономическое положение месторождения существенно влияет на уровень затрат, связанных со строительством горного предприятия, и на сроки освоения капитальных вложений. Поэтому для более рационального размещения промышленности в первую очередь должны использоваться природные ресурсы, доступные для быстрого освоения и дающие наибольший народнохозяйственный эффект.

При решении вопроса о промышленной значимости месторождения все перечисленные выше условия требуют обязательной оценки. Недоучет любого из них неизбежно приводит к серьезным просчетам и осложнениям в процессе промышленного освоения месторождения.

Контрольные вопросы

1. Что называется полезными ископаемыми?
2. Как разделяются по содержанию и назначению твердые полезные ископаемые?
3. Что является важнейшими критериями промышленной ценности минеральных скоплений?
4. Чем определяется качество минерального сырья?
5. Что называется запасом полезного ископаемого?
6. Что определяют технологические свойства минерального сырья?
7. Что такое горно-геологические условия эксплуатации?

2 Закономерности образования месторождений полезных ископаемых

Современные представления о закономерностях образования месторождений полезных ископаемых прошли длительный эволюционный путь развития. Особенно активный переход от эмпирических закономерностей к генетическим обязан трудам ведущих мировых ученых и датируется, начиная с конца 19 века (К.И. Богданович,1912; Л.Де Лоне 1913; В. Эммонс,1918; А.Н. Заварицкий,1926; В. Лингрен,1932; В.А. Обручев,1934; Г. Шнейдерхен,1958; Ш. Парк и Р. Макдиармид,1963; В.И. Смирнов,1965,1969,1976, 1982; И.Ф. Романович,1986; Чшай Юй Иена,1990 и др.).

Как известно все месторождения полезных ископаемых являются неотъемлемой частью эволюционного развития Земли, ее глубинными и верхними частями и соответствующими физико-химическими процессами. В соответствии с этим выделяются три серии образующихся горных пород, геологических структур и месторождений полезных ископаемых эндогенные, экзогенные и метаморфогенные. В этом ключе классификация В.И. Смирнова является основой предлагаемых в настоящее время систематик различными авторами с некоторыми изменениями и дополнениями [5] (таблица 3).

Прилагаемая таблица классификации генетических типов месторождений полезных ископаемых является основой при изучении условий образования месторождений полезных ископаемых.

При анализе процессов образования отдельных типовых групп месторождений может быть использован системный и модельный подходы.

Под рудообразующей системой понимается совокупность взаимосвязанных процессов и явлений пород и структур, эволюция которых в пространстве и времени сопровождается обособлением значительных масс рудного вещества, которая при благоприятных условиях может образовывать месторождения полезных ископаемых.

Рудообразующая система существует в границах, определяемых самой

природой, но она может быть выделена исследователем в качестве обособленного объекта [9].

Генетическая модель рудного объекта – это подобие в упрощенной форме, некоторая геометрическая, физико-химическая или математическая формы восприятия изучаемой рудной системы. Модели служат наглядной иллюстрации особенностей определенных параметров месторождения.

2.1 Общие закономерности формирования месторождений

2.1.1 Основные геодинамические обстановки

Месторождения полезных ископаемых формируются на различных этапах их развития: в складчатых областях, платформах, в областях тектономагматической активизации, на дне морей и океанов.

В складчатых областях они характеризуются интенсивной подвижностью, значительной подвижностью и высокой проницаемостью [5], широко проявлены магматические процессы, интенсивный метаморфизм, с чем связано образование многочисленных эндогенных и экзогенных месторождений.

Платформенные области характеризуются особым платформенным режимом, которому свойственны слабые колебательные движения, отсутствие в складчатых областях деформаций и значительная роль разрывных нарушений. На платформах практически отсутствует региональный метаморфизм, среди магматических образований преобладает долеритовая (трапповая) формация.

По условиям формирования месторождений платформы резко отличаются от складчатых зон. Для платформы характерны значительные температуры и давление, преобладают процессы седиментации, диагенеза и выветривания. В образовании экзогенных месторождений платформ особенно значительную роль играют процессы, обусловленные жизнедеятельностью различных групп организмов. Эндогенная минерализация приурочена преимущественно к основным щелочным и щелочно-ультраосновным формациям.

С трапповым магматизмом в условиях малых глубин связано формирование месторождений сульфидных медно-никелевых руд (Сибирская платформа, Южная

Африка), железорудные месторождения ангаро-илимского типа (Сибирская платформа), месторождения исландского типа.

В тех участках, где траппы контактируют с пластами углей, возникают месторождения графита. Для платформы весьма характерны месторождения алмазоносных кимберлитов.

С щелочно-основной формацией, проявленной в виде кольцевых интрузий, связаны месторождения редких земель, флогопита, алюминиевого сырья.

В результате экзогенных процессов на платформах формируются разнообразные месторождения каменных и бурых углей, нефти, фосфоритов, железных руд, каменных и калийных солей, россыпные месторождения золота, алмазов, латеритные и каолиновые коры выветривания.

Области тектономагматической активизации отличаются специфическим геодинамическим режимом (Щеглов А.Д., 1968г, 1980г). Он проявляется в комплексе тектонических и магматических процессов, наложенных на жидкий субстрат земной коры континентального типа – на область завершённой складчатости, платформы и щиты – и ведущих к его существенной перестройке. Месторождения образуются на малых глубинах от земной поверхности при относительно высоких температурах и малом давлении. Это флюоритовые, полиметаллические, золоторудные, урановые, сурьмяные месторождения. Им свойственен значительный вертикальный размах оруденения.

Из экзогенных образований в областях тектономагматической активизации наиболее широко представлены месторождения каменных и бурых углей в наложенных прогибах и впадинах.

Дно морей и океанов отличается особой геодинамической обстановкой рудообразования.

Она определяется глубиной и рельефом дна, наличием или отсутствием подводных течений и интенсивного водообмена, выходами источников термальных вод, особым химизмом среды рудоотложения.

На дне Мирового океана в современную эпоху идет формирование руд различного генезиса и состава. Руды в океанических котловинах представлены железо-марганцевыми конкрециями и корками, для которых характерны также

повышенные содержания ряда элементов.

Руды, приуроченные к тектоническим активным зонам (срединным хребтам и трансформным разломам), представлены полиметалльным рудным илом и рассолами. Выход гидротерм имеют форму труб высотой до нескольких метров.

Выводные трубы могут быть активными высокотемпературными (350 °С), подающими в морскую воду дымы черного цвета, которые состоят главным образом из пирротина и богатого железом сфалерита, и низкотемпературные, которые выделяют аморфный кремнезем, барит и пирит и дают дымы молочно-белого цвета.

2.2 Глобальные геодинамические условия образований месторождений полезных ископаемых

В настоящее время разработана Р.С. Дитцом, П.В. Гильдом, Ф.М. Савкинсом и Митчеллом, М. Гарсоном, А.П. Зоненшайном и В.Е. Хаином и др. новая концепция в тектонике литосферных плит, в которой отводится главенствующая существенная роль горизонтальным перемещениям литосферных плит. На основе чего была разработана конвективная модель развития Земли [5]

2.3 Генетические типы месторождений полезных ископаемых

Процессы, с которыми связано формирование концентраций химических элементов в земной коре, как известно, связано солнечной, глубинной и дальнейшим преобразованием, в соответствии с принятой известной рудогенетической классификацией В.И. Смирнова (1982 г. и др.), И.Ф. Романовича (1986 г), В.И. Старостина, П.А. Игнатова (2006 г) и др (таблица 3).

2.4 Глубина образования месторождений

Под глубиной образования месторождений понимают расстояния от земной

поверхности, соответствующей времени рудоотложения, до места локализации руд. Интервал по вертикали между верхней и нижней границами распространения руд показывает вертикальный размах (диапазон) оруденения, от места концентрации полезных ископаемых до предлагаемого источника рудоносных растворов и рудного вещества – удаленность оруденения от источника.

Таблица 3 - Генетическая классификация месторождений полезных ископаемых

Группа	Класс	Типы месторождений
1	2	3
I Эндогенная серия		
Магматическая	1. Ликвационный	а) сульфидные медно – никелевые в основных и ультраосновных комплексах; б) хромитовые, титаномагнетитовые и руды элементов платиновой группы в расслоенных ультраосновных комплексах; в) редкие, редкоземельные и рассеянные элементы в щелочных комплексах
	2. Раннемагматический	Магматические горные породы, алмазоносные кимберлиты и лампроиты
	3. Позднемагматический	Хромитовые, титаномагнетитовые и апатит-нефелиновые
Карбонатитовая	Флюидно – магматический карбонатитовый	Перовскит–титаномагнетитовые, камафоритовые, редкометалльно–пироклоровые, редкоземельные и флюоритовые
Пегматитовая	1. Магматогенный	Керамические, мусковитовые, редкометалльные и цветных камней
	2. Флюидно – анатектический	Редкометалльно–пироклоровые и апатит-нефелиновые
	3. Флюидно - метаморфогенный	Керамических, мусковитовых, редкометалльных пегматитов и цветных камней
Скарновая	1. Известковый	Железорудные, вольфрам–молибденовые, медномолибденовые, свинцово–цинковые
	2. Магнезальный	Железорудные, медно–молибденовые, оловорудные, борные
Альбитит-грейзеновая	1. Альбититовый	Бериллиевые, литиевые, урановые и редкоземельные
	2. Грейзеновый	Олово–вольфрамовые, литиевые, бериллиевые
Гидротермальная	1. Плутоногенный	Штокверковые и жильные а) высокотемпературные: медно–молибден–порфиновые, золото–олово–меднокварцевые; б) среднетемпературные: полиметаллические, сурьяно–мышьяковые, редкометалльные, ураноносные; в) низкотемпературные: сидеритовые, родохрозитовые, магнезитовые, хризотил–асбестовые, баритовые
	2. Вулканогенный – андезитоидный	Золото–серебряные, олово–вольфрамовые, ртутные, медные, алунитовые, исландского шпата, самородной серы
	3. Вулканогенно – осадочный, базальтоидный, сумбаринный	Колчеданные, медноколчеданные, колчеданно-полиметаллические
II Экзогенная серия		

Продолжение таблицы 3

Группа	Класс	Типы месторождений
1	2	3
Выветривания	1. Остаточный и переотложенный	Никель–кобальтовые, бокситовые, редкометалльные и редкоземельные, каолиновые, апатитовые, марганцевые
Осадочная	1. Механический рассыпной	Гравийные, песчаные и глинистые (огнеупорные, бентонитовые) а) Континентальные россыпные, золотые, платиновые, касситеритовые, алмазные, танталит–колумбитовые, корундовые б) Литоральные россыпные рутиловые, ильменитовые, цирконивые, касситеритовые, алмазные, цветные камни
	2. Хемогенный	а) Гидрооксидные, суспензионно–коллоидные: бурых железняков, марганца, железно–марганцевых конкреций и корок; б) сульфидно–сульфатно–карбонатные: цветных и редких металлов в черных сланцах; в) сульфатно–галоидные: каменных, калийных солей, боратов, лития
	3. Биохимический	Фосфоритовые (континентальные и прибрежно–морские) кремнистые породы (диатомит, трепел, опоки), известняки, угли, горючие сланцы, торф
Эпигенетическая	1. Грунтовых вод	Медистых песчаников, уран–ванадиевых в палеорулах
	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
III Метаморфогенная серия		
Метаморфизованная	1. Регионально – метаморфизованный	Железорудные, марганцевые, золото–урановые, апатитовые, колчеданные
	2. Контактново–метаморфизованный	Железорудные, графитовые, корундовые, скарнированные
Метаморфическая	1. Зеленосланцевый	Горного хрусталя, золото–кварцевые, мрамора, кварциты, кровельные сланцы
	2. Амфиболитовый	Андалузитовые, кианитовые, силлиманитовые, наждака, амфибол–асбестовые
	3. Гранулит–эклогитовый	Гранатовые, рутил–ильменитовые, флогопитовые
	4. Импаكتитовый	Алмазные

Для разных генетических групп и классов месторождений удаленность может быть весьма разной. При образовании собственно магматических месторождений в замкнутой системе магматических камер она наименьшая и определяется размерами камеры. Большого отдаления от первоисточника достигают месторождения гидротермальной группы и месторождения, связанные с глубинными мантийными растворами.

Для большинства месторождений осадочного цикла область сбора и мобилизации металлов и область их концентрации совпадают. Значение глубины

образования месторождений полезных ископаемых имеет большое практическое и теоретическое значение. Именно поэтому принцип глубинности (наряду с температурой и минеральным составом) являлся основой для многих классификаций эндогенных месторождений (А. Линдгрэн, М.А. Усов, П.М. Татаринев и др.)

Выделяют четыре зоны глубинности образования месторождений. Поверхностно–приповерхностная (0-1,5 км), малых (1,5- 4 км), средних (4 – 10 км) и больших глубин (глубина 10 км).

Поверхностно-приповерхностная зона. Рудообразование происходит на дне водных бассейнов и в верхней части земной коры. Для зоны характерна низкая температура (до 100 °С), давление от 1 до 400 бар (1 бар равен 10 Па) и слабый региональный метаморфизм.

Ведущими рудообразующими процессами являются седиментация, выветривание, окисление, отложение из коллоидных растворов.

В приповерхностной зоне формируются месторождения латеритной и каолиновой кор выветривания, россыпные речные и прибрежно-морские.

Рудоконтролирующими структурами служат приповерхностные трещинные системы, депрессии, разломы, осадочные бассейны артезианского типа. Рудное вещество переносится в основном минерализованными подземными водами и поверхностными водотоками, большую роль играют инфильтрационные воды.

Зона малых глубин. В этой зоне формируется цеолитовая и зеленосланцевая фации метаморфизма и широко развиты разрывные структуры (трещиноватость, разломы), которые служат путями концентрированного перемещения гидротерм. Рудообразование тесно связано с развитием складчато-разрывных структур. В рудообразовании наряду с ювенильными растворами существенную роль продолжают играть инфильтрационные воды.

Зона малых глубин имеет самые благоприятные физико-механические свойства среды для формирования большой группы эндогенных месторождений цветных и редких металлов. На глубинах 4,5 -5 км начинают резко уменьшаться пористость и проницаемость пород.

Зона средних глубин (4-10 км). Здесь литостатическое давление составляет

от 1 до 3 кило бар, температура окружающих пород – более 150 °С. Пористость пород в этой зоне низкая, большинство трещин закрытые, породы становятся пластичными. Условия для просачивания растворов здесь стесненные, доминирует фильтрационно-диффузный массоперенос, широко развиты метасоматические процессы. Основными структурными элементами, контролирующими концентрации рудного вещества являются направление, масштаб течения и кливаж. Количество формирующихся на этих глубинах месторождений резко сокращается.

Зона больших глубин. Здесь господствуют высокие температуры свыше 400 °С и давление больше 2 кбар (обычно - 15 кбар), развиваются амфиболитовая и гранулитовая фация метаморфизма и ведущим способом структурообразования является пластическое течение. При высоком всестороннем давлении коры трещины закрыты полностью, порода слабопроницаемая для растворов. На таких глубинах мобилизация и перенос вещества осуществляется пластическим течением, диффузией и фильтрацией во флюидной фазе. В этой зоне образуются метаморфогенные месторождения. К глубинным зонам приурочены высокотемпературные калиевые и калиево-натровые метасоматиты с танталовым, бериллиевым и ниобиевым оруденением, магнезиально-скарновые месторождения магнетита и флюорита, мусковитовые и керамические пегматиты.

2.5 Зональность рудных районов и месторождений

Под зональностью оруденения понимают закономерное размещение в пространстве месторождений, рудных залежей, типов руд, отдельных минералов и химических элементов, изменение физических и других показателей рудных масс и окolorудно измененных вмещающих пород. Она отражает структурные пространственно-временные характеристики оруденения.

Изучение различных форм проявлений зональности и ее генетической сущности способствует решению общих проблем рудообразования, позволяет устанавливать родство месторождений, выявить общие закономерности их размещения в крупных структурах земной коры. Большой вклад в изучение

зональности внесли Эммонс В. 1924, 1926, 1936 гг; Смирнов С.С. 1937 г; Королев А.В.1949 г., Билибин Ю.А. 1951 г; Левицкий О.Д. 1959 г.; Смирнов В.И. 1957 г., 1960 г., 1965 г.; Рундквист Д.В., Неглинский И.А.,1975 г. и др.

По масштабу проявлений выделяются три ранга зональности: 1) рудных поясов (региональная); 2) рудных полей месторождений (рудных узлов); 3) рудных тел.

Главные характеристики зональности.

Важными параметрами, характеризующими зональность оруденения, является: направление, структура, контрастность, границы рудной зональности (В.И.Синяков,1987).

Направление зональности показывает пространственную ориентировку вектора максимальной изменчивости минерализации. Наиболее характерные проявления зональности заключаются в смене оруденения по простиранию (горизонтальная зональность), по падению (вертикальная зональность) и по мощности рудных залежей (поперечная зональность).

Разновидностью горизонтальной зональности на некоторых месторождениях иногда называют «центробежной» в случае локализации позднего оруденения на периферии рассматриваемого объекта или «центростремительной» – в центральной части объекта.

Структура зональности определяется чередованием зон различного состава.

Контрастность зональности определяется резким или постепенным характером изменения минерального и химического состава оруденения.

Граница зональности – это расстояние, на котором по вертикали или горизонтали проявляется оруденение или минерализация одного типа.

Граница зональности колеблется в широких пределах от нескольких десятков метров до 1000 м и более. В осадочных и гидротермально-осадочных стратиформных месторождениях железа, марганца, меди и цинка граница горизонтальной изменчивости в тысячи и десятки тысяч раз больше, чем вертикальной.

Ряд зональности по Д.В. Рундквисту (1975 г.) - это закономерная последовательность максимума концентрации элементов, минералов, руд или

пород по направлению зональности в пределах рудного тела, месторождения или рудного поля.

Генетические типы зональности. Зональность оруденения бывает двух генетических типов: фациальная (зональность отложения) и стадийная.

Фациальная зональность обусловлена последовательным отложением разных минеральных комплексов из поступающих рудоносных растворов определенного состава в связи с изменением геологических и физико-химических условий их циркуляции (эволюция в пространстве). Этот тип зональности Я. Кутине (1965 г) назвал моноасцендентным (подниматься, восходить), т.е. обусловленным действием одного восходящего потока растворов. Фациальная зональность особенно типична для осадочных месторождений, где она определяется разными условиями осадкообразования в прибрежных частях бассейнов и процессами химической дифференциации.

Стадийная зональность вызвана многократным поступлением рудоносных растворов различного состава в область рудоотложения и последовательным формированием руд разного состава (эволюция во времени). Этот тип зональности С.С. Смирнов (1937 г) назвал пульсационным, объясняя образование зональности пульсирующим характером поступления рудоносных эманаций, отделяющихся от магматических очагов по мере их остывания. Я. Кутина назвал его полиасцендентным, т.е. связанным с деятельностью нескольких разделенных во времени восходящих потоков растворов.

В.И. Смирнов выделил шесть генетических разновидностей зональности гидротермальных рудных тел.

1 Зональность повторных тектонических разрывов обусловлена приоткрыванием трещин в результате многократных тектонических деформаций и выполнением каждой новой системы трещин минеральным веществом различного состава. Эта зональность наиболее отчетливо проявляется в жильных месторождениях, сформировавшихся в несколько стадий при заметном смещении в пространстве тектонических разрывов.

2 Зональность тектонического накрывания связана с непрерывным минералообразованием в растущей трещине. В этом случае медленно

разрастающаяся трещина (в одном или двух направлениях) будет выполняться рудой нового и нового состава. Зональность этого типа не бывает очень контрастной как в местах повторных тектонических разрывов.

3 Зональность внутрирудного метасоматоза развивается в тех случаях, когда в растворах поздних стадий рудообразования выносятся вещества, отложившиеся на более ранних стадиях этого же процесса, и переотлагается (часто в другой минеральной форме) в верхних частях и на флангах рудных тел.

4 Зональность состава пород определяется активным влиянием на минералообразование состава пород, пересекаемых рудолокализирующей трещиной. Такая зональность четко проявляется на границе участков, где рудная жила пересекает породы, некорректные к рудоносным растворам, и породы, сорбирующие рудные вещества из этих растворов.

5 Фильтрационная зональность обусловлена разной степенью подвижности соединений разных металлов при их фильтрации через толщу пород, прилегающих к рудоподводящим каналам. При этом соединения разных металлов, располагаясь на разных расстояниях от трещин, образуют зонально построенные метасоматические рудные тела. Фильтрационная зональность всегда контрастна.

6 Зональность отложения в гидротермальных системах определяется изменением физико-химических параметров (давления, температуры, щелочности, кислотности, окислительно-восстановительного потенциала, режима серы и др.) регулирующих выделение рудообразующих минералов из гидротермальных растворов.

2.6 Конвергентность месторождений

Термин конвергенция – схождение, приближение. В геологии используется как образование объектов сходного типа из различных источников и различными путями. Конвергентным называются месторождения сходного состава, строения и геологической позиции, но различающиеся по условиям образования. Впервые идеи о конвергентности рудных формаций были высказаны В.И. Смирновым (1960 г) применительно к колчеданным месторождениям. Им было показано, что,

несмотря на общность геологических условий нахождения этих месторождений, устойчивость их минерального состава и строений рудных залежей, формировались они в различной обстановке. Одни колчеданные месторождения образовались в морских бассейнах при седиментации сульфидного вещества, вынесенного в придонную область в процессе гидротермальной деятельности. Другие формировались среди вулканогенных пород, при этом возникли вследствие того, что рудные тела формировались в результате проявления как метасоматических, так и вулканогенно-осадочных процессов.

Конвергентность не менее ярко проявлена в группе пегматитовых месторождений. В одних случаях формирование пегматитов связано с кристаллизацией магматических расплавов, богатых летучими веществами, в других - с процессами перекристаллизации и с метасоматическим изменением магматических горных пород, в третьих – с процессами метаморфизма амфиболитовой фации.

2.7 Длительность формирования месторождений

Рассмотрение процессов рудообразования во времени способствует глубокому пониманию их динамики и позволяет синхронизировать рудоотложение с другими геологическими событиями. При оценке длительности процессов формирования месторождений используются:

- 1) непосредственные наблюдения в природных условиях за рудоотложением;
- 2) физическое (экспериментальное) моделирование рудного процесса;
- 3) математическое моделирование рудного процесса;
- 4) интуитивно–количественная оценка времени формирования на основе косвенных геологических данных;
- 5) данные изотопных исследований по датировке исследуемых процессов минералообразования.

Длительность образования различных рудных объектов варьирует в очень больших пределах: от нескольких суток до десятков и далее сотен миллионов лет.

В.И. Синяков (1987 г.) отмечает следующие масштабы времени формирования объектов, относящиеся к разным уровням организации вещества:

- 1) время образования отдельных кристаллов и слоев осадков;
- 2) время развития простых рудных жил, метасоматических зон, пластов, отвечающих отдельной стадии рудного процесса;
- 3) время формирования всего месторождения;
- 4) продолжительность рудообразования в рудном узле, районе, бассейне.

Основываясь на геологических данных многие исследователи (В.Н. Котляр, Г.Н. Щерба, К.Н. Фермер, В.И. Синяков и др.) считают, что длительность формирования эндогенных месторождений различных фаций глубинности существенно различается.

Образование месторождений в приповерхностных условиях протекало быстрее, чем месторождений глубинных. Так образование ртутных руд на приповерхностном месторождении Манте-Амиата в Италии шло в течение 10 тыс.лет, на малоглубинном медно-молибденовом месторождении Малого Кавказа руды сформировались за 100-900 тыс.лет (Котляр В.Н.,1966 г)

Формирование же глубинных месторождений например карбонатитовых, и метаморфогенных месторождений докембрия измеряется миллионами лет. В.И. Смирнов указывает, что образование ряда колчеданно-полиметаллических месторождений начинается с вулканогенно-осадочного процесса, а заканчивается жильным гидротермальным. Длительность развития таких месторождений равна примерно 50 млн.лет.

Развитие оруденения в отдельных крупных рудных узлах протекал в интервале от 280 до 60 млн. лет назад, причем продолжительность периода собственно рудообразования составляла примерно от 1 до 10 млн.лет, с перерывами от 40-60 млн.лет. В разных рудных районах длительность процесса рудообразования составляла от сотен тысяч до миллиардов лет.

Весьма перспективным направлением со значительными теоретическими и прикладными следствиями является исследование в области создания моделей рудных месторождений (А.И.Кривцов,1989 г.).

Разработка моделей рудных месторождений имеет цель создания их

обобщенных образов, содержащих характеристики естественных объектов в доступном для наблюдений сочетании. Генерализация признаков при моделировании вызывают необходимость корректировать представления о конкретных объектах при неполноте совпадений их с моделями по главным признакам. Подобная новая информация может иметь как теоретическое, так и прикладное значение.

Генетические модели являются моделями рудообразующих процессов. В.А. Кузнецов в качестве главных элементов выделяет связь с магматизмом, источником рудного вещества, источником растворов, формой переноса, условиями концентрирования, т.е. характеристика основных составляющих рудообразующих процессов. Как отмечает Л.Н. Овчинников, единая генетическая модель рудной формации должна слагаться из «субмоделей», описывающих главные генетические факторы и параметры. Генетические модели имеют преимущественно качественное содержание, хотя в вопросах состояния и развития гидротермальных систем теоретически и экспериментально определены комплексы физико-химических характеристик, влияющих на перенос и отложение рудного вещества.

Значительные успехи достигнуты также в количественном моделировании эволюции рудоносных магматических расплавов.

Генетические модели могут иметь описательные, количественное, качественное и графическое выражение.

Систематизированные описательные модели создаются на базе классификаций месторождений – рудно-формационных, геолого-промышленных, реже генетических.

Содержание описания определяется заданными характеристиками – от геотектонического положения месторождений до их генетической принадлежности.

Разработка моделей рудных месторождений имеет целью создание их обобщающих образов, содержащих главные характеристики естественных объектов в непротиворечивом и доступном для наблюдений сочетании.

Количественные геолого - промышленные модели.

При разработке количественных геолого-промышленных рудных месторождений, имеющих преимущественно прикладное значение используются различные методические приемы, зависящие от конкретных задач моделирования.

Для прогноза, поисков и оценки месторождений используются модели, в которых соподчиненные элементы околорудного пространства и рудные тела получают количественные характеристики, подобные модели разработаны, в частности, для меднопорфировых месторождений. Количественные модели (средние запасы и содержание металлов) важнейших типов рудных месторождений приведена в работе Кривцова А.И.

Морфологические модели широко используют морфометрические характеристики, основаны на описании форм рудных тел соответствующими пространственными геометрическими фигурами, а также на их классификациях по соотношению трех пространственных осей - длины, ширины и мощности.

Модели распределения содержаний полезных компонентов в рудных телах («концентрационные» модели) создаются с целью выявления главных черт рудной зональности и имеют как геолого-генетическую, так и прикладную направленность.

Кроме объяснения возможной природы распределения содержаний, концентрационные модели служат основой для прогноза уровней содержания того или иного элемента в изученных либо недостаточно изученных рудных телах.

При формировании моделей используется изучение закономерностей применительно к вертикальным и горизонтальным сечениям рудных тел и на их проекциях и т.д.

Концентрационные модели позволяют характеризовать рудную зональность в градиентах содержаний отдельных элементов либо их групп.

Комплексное изучение рудной зональности колчеданных месторождений позволило получить для этих объектов типовую концентрационную модель, основные черты которых устанавливаются на всех месторождениях, независимо от времени формирования [8].

Для сечений колчеданных залежей по мощности характерно распределение концентраций меди и цинка с нарастанием к кровле и в форме восходящих линий.

В поперечных сечениях, проходящих через максимумы мощностей, которые совпадают с осевыми частями подводных каналов, содержания меди и цинка обычно образуют по два симметричных максимума, расположенные на разном удалении от соответствующей вертикальной оси. Такая же картина характерна и для продольных сечений. Эти особенности распределения основных породообразующих элементов наиболее ярко проявляются на проекциях рудных тел. Такое распределение отвечает симметричной фациальной зональности (по С.Н. Иванову и С.А. Рокачеву) и близка концентрически-осевому типу зональности (по А.Г. Шабину).

2.8 Геотектонические обстановки

Геотектонические условия определяют глобальные закономерности формирования и распределения концентраций химических элементов в земной коре с образованием металлоносных площадей разного масштаба: металлогенических поясов, провинций, областей, рудных районов и месторождений.

В основу анализа связи различных типов месторождений с геологическими обстановками, положена систематика А. Митчелла и М. Гарсона с позиции гипотезы тектоники плит с соответственными примерами и с некоторыми дополнениями (Л.Н.Овчинников,1992 г.; А.И.Кривцов,1989 и др).

Геотектонические обстановки определяют характер и тип геологических процессов, а также соответствующий этим процессам тип оруденения, последующее изменение этого оруденения и его возможную сохранность. Разные обстановки отличаются различным магматизмом: известково-щелочные вулканические и плутонические породы образуются в магматических дугах зон субдукции; щелочные породы приурочены к внутриконтинентальным рифтовым зонам, трансформным разломам и горячим точкам. Толеитовые лавы свойственны океаническим центрам спрединга, соответственно распределяются и рудные месторождения, связанные с этими магматическими продуктами.

Геотектоническая обстановка контролирует природу осадочных серий, их

геометрию, мощность, состав и фациальные особенности, а как следствие и связанные с этим сериями формации син-, диа- и эпигенитичных месторождений. Тектоническая обстановка влияет и на геотермические градиент – важный фактор циркуляции рудообразующих растворов. Глубинные разломы (как один из главных элементов тектонической обстановки) контролируют циркуляцию рудоносных растворов, флюидов и связанные с ним рудоотложения; контролируется также эрозия и седиментация на прилегающих площадях.

Континентальные режимы, не связанные со складчатостью

Внутриконтинентальные горячие точки и следы горячих точек

Они характеризуются неорогенными магматическими образованиями:

а) плюмазитовые и агпаитовые граниты; к ним принадлежат гидротермальные месторождения в связи с атмосферными и магматическими водами (Плато Джос, Нигерия, Юра; Сент Франсис США, поздний протерозой; Родезия, Бразилия, поздний протерозой);

б) агпаитовые граниты с гидротермальными месторождениями, связанными с магматическими флюидами и постмагматическими водами (Бокан-Маунтин, Аляска, мезозой; Аппалачи, средний палеозой-мезозой);

в) карбонатиты с магматическими и метасоматическими месторождениями апатита, вермикулита, магнетита, пирохлора, других редкометальных минералов (Кольский полуостров, палеозой; Эль-Увейнат, поздний мезозой – ранний кайнозой);

г) щелочные базальты с россыпными месторождениями ювелирных камней – сапфиры, цирконы, шпинель, рубин.

Внутриконтинентальные рифты и авлакогены

Подразделяются на рифты, связанные с горячими точками, и рифты, образующиеся при столкновении континентов. К первым относятся трехлучевые рифтовые системы, неразвившиеся ветви рифтов, полуграбены, авлакогены. Под

авлакогенами подразумевают неразвившиеся рифты – незавершенные, но уже прошедшие стадию столкновения континентов. Значительные различия в типах оруденения между этими двумя группами рифтов не установлено и связанные с рифтовыми зонами рудные месторождения рассматриваются без их разделения по этим группам (Овчинников, 1992).

Магматиты:

а) карбонатиты с магматическими месторождениями апатита, вермикулита, пирохлора, медно-урановых руд с редкометальной минерализацией, Т.С Палабора, ЮАР, протерозой, Ока, Канада, ранний мел; Чилва, Канганкунде, Малави;

б) щелочные комплексы с месторождениями апатита (Сынныр, Забайкалье, Грабен, Осло);

в) кимберлиты алмазоносные (Танзания, мезозой; Премер-Майн, ЮАР, протерозой; другие месторождения ЮАР, мел);

г) базиты и гипербазиты с месторождениями Великая Дайка Зимбабве, ранний протерозой; Бушвельдский комплекс ЮАР, ранний протерозой; комплекс Дулут США, поздний протерозой);

д) агпаитовые граниты с порфировыми молибденовыми и медно-молибденовыми месторождениями (Глитерванн, грабен Осло, Пермь; Битчевана рифт Кивино, Канада).

Осадочные толщи и месторождения:

а) битуминозные и известняковые глинистые сланцы над поверхностями несогласия и подстилающие их эвапориты содержат стратифицированные месторождения СИ (Атлантическое побережье Африки, апт; медистые сланцы Северной Европы, Пермь; Медный пояс Замбии, Заира, поздний протерозой);

б) битуминозные глинистые сланцы в терригенных толщах: стратифицированные серебро-свинцово-цинковые месторождения типа Салливан (Салливан, Британская Колумбия, поздний протерозой; Маунит-Айза, Квинсленд, Австралия, поздний протерозой; Мак Артур-Ривер, Австралия, средний протерозой, Гамсберг ЮАР, поздний протерозой);

в) терригенные породы, стратифицированные урановые месторождения в

песчаниках (авлакоген Атапуску, Канада, средний протерозой);

г) озерные рассолы и эвапориты, современные месторождения солей Na и K, магнезита и фосфоритов в Восточно-Африканском рифте, месторождения Na и K Северного моря (эвапориты цехштейна);

д) черные сланцы; жильные месторождения Pb и Zn (прогиб Бенуэ, Нигерия, мел, Амазонская зона разломов, мел).

Разломы и линеаменты

а) жильные месторождения флюорита (Запад Северной Америки, Кайнозой; Иллинойс, США, поздний мел; Восточно-Африканский рифт, Рейнский грабен);

б) жилы в древнем фундаменте; кварц-молибденовые, содержание Ag и арсениды Co (грабен Осль и рифт Кивинно).

Сохранность рифтовых месторождений в авлакогенах определяется:

а) степенью завершенности рифтов (при обилии протерозойских и палеозойских авлакогенов и неразвившихся до океана рифтов);

б) глубиной эрозии при выходе месторождений на поверхность;

в) захоронением рифтовых образований шельфовыми отложениями в районах, прилегающих к поясу надвигов.

1.3. Пассивные континентальные окраины и внутренние бассейны.

Пассивные окраины характеризуются отсутствием относительных движений континентов и океанического дна. Чаще всего возникают в результате спрединга океанического дна в пределах развивающейся внутриконтинентальной рифтовой системы.

Вмещающие рудоносные геологические формации и типы месторождений

а) магнезиальные карбонатные породы трансгрессивных толщ с месторождениями эвапоритов (Южная Африка, апт; Красное море, миоцен);

б) черные сланцы, кремни, доломиты, обычно трансгрессивно залегающие с

месторождениями фосфоритов (Перу, Западная Африка, современные: Флорида, миоцен);

в) трансгрессивные глубоководные толщи морских осадков: металлоносные черные сланцы - цветные и благородные металлы (Алум-Шейле, Швеция, кембрий: Венецианские Альпы, мезозой);

г) мелководные морские обломочные породы трансгрессивных толщ; месторождения железных руд типа Минетта (Западная Европа, Юра; Восточные районы США, силур);

д) кремни и мелководные обломочные породы; полосчатые железистые кварциты (Палабара, Южная Африка, поздний протерозой);

е) пески морских побережий; россыпи ильменита, рутила, циркона (Южная Африка, восточное побережье Австралии, современные);

ж) глубоко погребенные породы шельфовых зон; эпи- и сингенетические свинцово-цинковые месторождения (Долина Миссисипи, кембрий, карбон; Ирландия, карбон; Южные Альпы, триас);

з) карбонатные породы шельфовых зон; месторождения Ва (Пакистан, Юра; Бирма, ордовик).

Внутриконтинентальные бассейны

а) протерозойские терригенные породы, залегающие с несогласием на нижнее- и среднепротерозойских метаморфизованных осадках; урановые месторождения «типа несогласия» (Бассейн Атабаска, Канада; Аллигейтор-Ривер, Северная Австралия, нижний и средний протерозой);

б) ортокварцитовые конгломераты, обычно залегающие над поверхностями несогласий; уран-и золотосодержащие кварцево-галечные конгломераты (Рэнд, Южная Африка; Эллиот-Лейк, Канада; Шакобина, Бразилия; Западная Австралия, нижний протерозой).

Океанические условия

Развитие океанических бассейнов в результате спрединга отвечает раннегеосинклинальной стадии геосинклинальной концепции. Рассматриваются три типа обстановок: океанические хребты и впадины, океанические трансформные разломы и океанические линейные цепи островов и подводных гор.

Хребты и впадины

а) пелагические красные глины и базальты; гидрогенные марганцевые конкреции океанического дна с Fe, Co, Cu (Атлантический, Тихий и Индийский океаны, современные);

б) базальты океанических хребтов; гидротермальные железо-марганцевые осадки океанических хребтов (Срединно-Атлантический хребет, Восточно-Тихоокеанское поднятие, современные), гидротермальные сульфидные месторождения Cu (Восточно-Тихоокеанское поднятие; впадины Красного моря, современные; Тродос, Кипр, меловые);

в) ультрамафиты верхней мантии - дуниты среди гарцбургитов; линзовидные залежи хромитов (Кипр, Куба, мезозойские; Филиппины, третичные);

г) ультрамафиты верхней мантии-перидотиты и серпентиниты, месторождения асбеста, талька магнезита (Филиппины, Италия, Греция, позднемезозойские-раннетретичные).

Трансформные разломы

а) осадки конусов выноса, базальты с высоким содержанием Ba, породы, обогащенные Mn; гидротермальные месторождения Ba (зона разлома Сан-Клименте, Калифорнийский бордерленд, современные);

б) магматические породы океанической коры, гидротермально-осадочные месторождения оксидов и гидроксидов Fe и Mn (зона разлома Романш, современные; Срединно-Атлантический хребет).

в) Линейные цепи островов и подводных гор; потенциально возможны

рудные месторождения, связанные с щелочно-карбонатитовым магматизмом (Канарские острова, острова Зеленого Мыса; Таити).

Зоны субдукции

Помимо сейсмически активных зон Беньофа, вдоль которых происходит поглащение океанического дна, рассматриваются соседние обстановки, косвенно связанные с зонами субдукции. Сюда входят подводные желоба и внешние дуги, внешние прогибы, тыловодужные магматические пояса и связанные с ними зоны надвигов, а также осадочные бассейны на континентальной стороне этих поясов и междуговые прогибы позади систем островных дуг, образующиеся в результате спрединга океанической коры в области тыловых дуг и косвенно связанные с зонами Беньофа.

Начало субдукции соответствует флишевой стадии развития геосинклинали по Ж. Одуэну. Наиболее рудоносные магматические дуги и тыловодужные магматические пояса, с магматизмом которых связаны многочисленные син- и эпигенетические гидротермальные месторождения большого спектра металлов.

Внешние дуги

Флишевые пояса внешних дуг, рассматриваемые как аккреционные призмы пород желобов, океанического дна и континентального подножья сами по себе бесперспективны в отношении оруденения. Но в этих дугах локализуются месторождения, заключенные в блоках офиолитов, тектонически сюда перемещенных и захороненных в олистостромах.

Существует представление о внедрении в процессе субдукции в области внешних дуг (наряду с магматическими дугами) рудоносных гранитных интрузивов.

Таким образом, к внешним дугам относятся:

а) абдуктированные офиолиты со страфицированными линзообразными залежами хромитов среди дунитов, в различной степени серпентинизированных

(Индо-Бирманские хребты, юра), а также со стратиформными медно-колчеданными месторождениями кипрского типа (Тродос, Кипр, мел);

б) граниты и гранодиориты с месторождениями турмалинов (юго-запад Японии, миоцен), месторождениями Cu медно-порфирового типа (Южно-Шотландская возвышенность, ранний девон);

в) флишевые толщи с золотоносными кварцевыми жилами в аспидных сланцах и деформированном флише (Тайвань, поздний Кайнозой);

г) кремнисто-карбонатные породы с ртутным оруденением в измененных серпентинитах (Иью-Альмаден, Калифорния, третичные; Тянь-Шань, палеозой);

д) флишевые толщи с кварцевыми и карбонатными жилами, несущими сурьмяное оруденение (Пакистан, третичные).

Внешние прогибы

Внешние прогибы развиваются между внешними и внутренними вулканическими дугами. В современных внешних прогибах известны небольшие элювиальные россыпи Au (Бирма, четвертичные; Грейн-Валли, Калифорния, четвертичные) и залежи угля.

Магматические дуги

Активные магматические дуги отвечают наибольшей сейсмической активности. Подразделяются на окраино-континентальные и океанические. К ним принадлежат:

а) интрузивные и субвулканические тела известково-щелочного состава от диоритов до кварцевых монцонитов и адамелитов какместилище широко распространенных месторождений медно-молибден-порфирового типа; более половины всех известных месторождений приурочено к двум окраинно-континентальным системам западной окраины Америки:

1) Андам, где субдукция продолжается и в наше время,

2) позднемезозойским и кайнозойским дугам Береговых хребтов Америки; к

этому порфиоровому типу относятся также медно-золотые (Филиппины, третичные) и золотые (Банду, Фиджи, ранний кайнозой месторождения островных дуг);

б) подводные вулканокластические отложения риолитового состава в островных дугах содержат многочисленные колчеданно-полиметаллические, стратиформные месторождения типа Куроко (Косаки, Япония, миоцен, Вануа-Леву, Фиджи, плиоцен; Бучане, Ньюфаундлен, ордовик; Каптинс-Флат, Австралия, Силур):

в) андезитовые лавы, туфы и вулканокласты окраино-континентальных дуг со стратифицированными медными месторождениями чилийского типа - манто (Боэна Эспирансо, Чили, месторождения юга Перу, юра-ранний мел);

г) агпаитовые граниты внутренних приконтинентальных зон магматических дуг с месторождениями оловянных и вольфрамовых руд (Аляска, миоцен, внутренняя зона Японии, мел; Восточный пояс юго-Восточной Азии, пермь);

д) золотоносные массивы кальдерных андезитов (Эмперор-Майн, о-в Вити-Леву, Фиджи, плиоцен), андезиты и дациты с золотоносными-кварцевыми жилами (п-ов Хаураки, Новая Зеландия, раннетретичные), диориты и гранодиориты с золотым оруденением приконтактных разломных зон (Багмо, о-в Лусон, Филиппины, миоцен);

е) кислые вулканыты с апатит-гематит-магнетитовыми месторождениями (вулкан Эль-Лако, Чили, плиоцен, постплиоцен; Западная Сьера-Мадре, кайнозой; Каруна, Швеция, протерозой);

ж) основные вулканыты со стратифицированными месторождениями W (шеелита), Ag (Восточные Альпы, ранний палеозой; Сардиния), Ag (Восточные Альпы, ранний палеозой, Сардиния, Турция, Кайнозой).

З) андезиты, дациты с гидротермальными месторождениями Hg (Филиппины, Мексика, Камчатка, кайнозой).

Тыловодужные и надвиговые пояса

Многие месторождения Mn, Mo, а также некоторые проявления медно-

порфиновых руд приурочены к областям тыловых дуг, отличаясь, тем самым, условиям образования от месторождений собственно магматических дуг. Месторождения, непосредственно сформированные в зонах надвигов, неизвестны. Сюда могут перемещаться ранее образованные месторождения, участвующие впоследствии вместе с вмещающими их породами в надвиговых движениях.

а) плюмазитовые граниты и вулканиты кислого состава с гидротермальными месторождениями Cu и Sn (Боливия, миоцен; Западный оловорудный пояс Юго-Восточной Азии, мел-эоцен; Тунгстония, США, мел);

б) адамеллиты с гидротермальными месторождениями Mo, Cu, Au, Ag, Pb, Sn (Батолит Айдахо, США, третичные);

в) кварцевые порфиры с гидротермальными жильными месторождениями Si, As, Sb (Бьютт, Монтана, США, поздний мел-палеоцен).

Платформенные краевые бассейны в областях сжатия

Краевые бассейны выполняются осадочными обломочными породами и содержат соответствующие осадочные месторождения. К ним относятся:

а) урановые месторождения песчаникового типа (Вайолинг, США, третичные; плато Корат, Тайланд, поздний мезозой; Карру, ЮАР, пермь);

б) аллювиальные россыпи Au и касситерита (Бассейн Магдалена, Колумбия, четвертичные; Британская Колумбия, четвертичные);

в) эвапориты – мощные слои калийных солей (плато Корат в Тайланде и Лаосе, мел).

Остаточные и унаследованные океанические бассейны

Месторождений не содержат, кроме фосфоритов в карбонатных осадках черных сланцев (Невада, США, раннекаменноугольные).

Обстановка столкновения континентов

Выделяются несколько рудоносных тектонических обстановок, связанных со столкновениями плит.

Сутурные зоны и офиолитовые покровы

а) сутурные зоны – источник крупных аллохтонных офиолитовых покровов, которые надвинуты или обдущированы на континентальные окраины и с которыми ассоциируют рудные тела хромитов (Сумаиль, Оман, меловые) и стратиформные месторождения Cu и Fe Кипрского типа (Бете-Ков, Ньюфаундленд, ордовикские);

б) глаукофановые и лавсонитовые сланцы с ювелирными жадеитами и нефритами, формирующиеся на глубине не менее 25 км (Бирма, доальбские).

Окраина хинтерленда перекрывающей плиты

Обстановка благоприятная для возникновения в связи с глубоким метаморфизмом ювелирных рубинов, сапфиров, шпинелей вблизи контактов пегматитов нефелиновых сиенитов, аляскитовых гранитов, прорывающих мраморы (Афганистан, Бирма, Индия).

Надвиговые пояса форлендов

Пояса смятых в складки и осложненных надвигами осадочных, и метаморфизованных пород с интрузивным магматизмом, синхронным надвигообразованию. Синхронные анатектические граниты, внедрившиеся при столкновении и последующих событиях, обычны для большинства до кайнозойских форлендов и приурочены не только к надвиговым поясам, но и к участкам форлендов, примыкающим к сутурным зонам.

Надвиговые пояса включают в себя как перемещенные ранее, образованные

месторождения, так и месторождения, возникшие в ходе столкновения плит, ассоциированные с продуктами гранитоидного магматизма. В этой обстановке известны:

а) плюмазитовые граниты с крупными магматогенными гидротермальными месторождениями Си с сопутствующим флюоритом, Нв, Та (Высокие, Гималаи, третичные; Юго-Западная Англия, раннепермские); в Малайзии выделяют четыре главных типа месторождений: пегматитовые, скарновые, жильные и ксенотермальные;

б) лейкократовые граниты с прожилково-вкрапленным урановым оруденением в трубках и жилах, которое сопровождается интенсивной мусковитизацией (Центральный массив, Франция, девонские), а также с урановым оруденением непосредственно в аляскитах поздней фазы, сконцентрированным в процессе анатексиса (Россииг, Намибия, позднепротерозойские).

Бассейны форленда. Бассейны форленда, как и другие обстановки, в которых преобладают обломочные терригенные осадки, без значительных скоплений эвапоритов мало благоприятны для локализации оруденения. К ним принадлежат:

а) уран-ванадиевое оруденение песчаникового типа (Савалик, Сулеймановые горы, Пакистан, поздне третичные), образованные в результате циркуляции постседиментационных грунтовых вод;

б) стратиформные залежи медных руд в связи с эвапоритами (Бассейн Эбро, Испания, третичные).

Межгорные трог

Рудные месторождения, образовавшиеся после столкновения в межгорных трогах, представлены, главным образом, убогим урановым оруденением песчаникового типа (Европа, пермские), а также соленосными озерными отложениями (Тибет).

Перечень геодинамических режимов и связи разных типов рудных месторождений с разными тектоническими обстановками показывают большое

разнообразие рудообразующих обстановок и их отчетливую металлогеническую специализацию, определяющую соответственно и специализацию отдельных рудных провинций.

Контрольные вопросы

1 Особенности генетической классификации месторождений полезных ископаемых?

2 Что понимают под глубиной образования месторождений?

3 Охарактеризуйте зональность рудных районов и месторождений?

4 Какие параметры используются при оценке длительности процессов формирования месторождений?

5 Что определяют геотектонические обстановки?

6 Какие месторождения полезных ископаемых образуются в континентальных условиях?

7 Какие геотектонические обстановки выделяют пределах континента?

8 Какие геотектонические обстановки выделяют в океанических условиях?

9 Какие полезные ископаемые образуются в каждой из приведенных в тексте геотектонической обстановке?

3 Стадийность геологоразведочных работ

Основное требование общественного производства к проведению геологоразведочных работ, как и к любой другой отрасли материального производства, сводится к требованию их максимальной эффективности, т. е. к необходимости достижения максимальных результатов при минимальных затратах времени и труда.

О результативности разведки судят по выявленной природной ценности месторождения и по достигнутой степени разведанности запасов в недрах. Чем выше выявленная природная ценность месторождения и достовернее оценка разведанных запасов, ниже уровень затрат и короче срок разведочных работ, тем выше эффективность разведки.

Повышению народнохозяйственной ценности месторождения способствуют:

- полное выявление масштабов полезной минерализации;
- всестороннее изучение качества и технологических свойств полезного ископаемого с выявлением полного комплекса основных и сопутствующих полезных ископаемых и компонентов.

Достоверность геолого-экономической оценки разведанных запасов возрастает при:

- увеличении детальности геологоразведочных работ;
- рациональном комплексировании геологических, геофизических и геохимических методов исследований;
- полном использовании информации, полученной по всем видам геологоразведочных работ.

При реализации требований максимальной эффективности условие полноты исследований приходит в противоречие со стремлением к максимальному ограничению затрат. *В оптимальном варианте объем геологоразведочных работ должен быть минимальным по затратам времени и труда, но достаточным для уверенного решения всех*

поставленных задач.

Для выполнения требования максимальной эффективности разведку месторождения следует продолжать до тех пор, пока затраты на дополнительно получаемую информацию окупаются приростом ожидаемой прибыли от реализации продукции горного предприятия в связи с уменьшением риска экономических потерь. Практически это означает, что чем больше масштаб и промышленная ценность месторождения, тем полнее и детальнее должен быть комплекс проводимых по ним геологоразведочных работ. С уменьшением масштабов, усложнением условий залегания и геологического строения месторождений экономически целесообразно ограничить детальность геологоразведочных работ, сокращая затраты на их проведение.

Максимальная эффективность геологоразведочных работ достигается при соблюдении определенной последовательности их проведения. В соответствии с принятыми методическими положениями геологоразведочные работы на твердые полезные ископаемые проводятся 3 этапа и 5 стадий:

Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых.

Этап II. Поиски и оценка месторождений

Стадия 2. Поисковые работы.

Стадия 3. Оценочные работы.

Этап III. Разведка и освоение месторождения

Стадия 4. Разведка месторождения.

Стадия 5. Эксплуатационная разведка.

На этапе I осуществляется комплексное изучение геологического строения территории страны, закономерностей размещения всех видов минерально-сырьевых ресурсов и их прогнозная оценка.

Геологические исследования этапов II и III направлены на воспроизводство минерально-сырьевой базы страны.

Разделение геологоразведочных работ на стадии, цель и результаты работ приведены в таблице 4.

Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения

Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых

Региональное геологическое изучение недр производится с целью получения комплексной геологической информации, составляющей фундаментальную основу системного геологического изучения территории страны и оценки ее минерагенического потенциала. Оно призвано обеспечивать определение закономерностей формирования и размещения полезных ископаемых, обоснование и удовлетворение потребностей различных отраслей промышленности и сельского хозяйства в геологической информации для решения широкого круга вопросов в областях геологоразведочного производства, горного дела, мелиорации, строительства, обороны, рационального природопользования, охраны окружающей природной среды, прогнозирования опасных, включая катастрофические, природных процессов и явлений (землетрясения, вулканизм, сели, оползни, обвалы и т.д.).

Важнейшим результатом регионального геологического изучения недр, в зависимости от его детальности, является научное моделирование и ранжирование по экономической значимости перспективных структурно-вещественных и минерагенических комплексов, локальный прогноз и начальная геолого-экономическая оценка потенциальных объектов минерального сырья, основанные на максимальном использовании полученной ранее геологической информации, применении новых методов и средств ее переинтерпретации, а также новых технологий геологических, геофизических, геохимических и других методов исследований.

Основными видами работ являются ранжированные по масштабам площадные геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические съемки (полистные, групповые, комплексные, доизучение ранее заснятых площадей, глубинное геологическое картирование), наземные и

аэрогеофизические работы (гравиразведочные, магниторазведочные, электроразведочные, аэрогаммаспектрометрические), а также широкий комплекс специализированных работ: объемное, космофотогеологическое, аэрофотогеологическое, космоструктурное, геолого-минерагеническое, геохимическое картирование, тепловые, радиолокационные, многозональные и другие съемки, геолого-экономические, геоэкологические исследования и картографирование, мониторинг геологической среды, прогноз землетрясений, создание государственной сети опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин, геологическая съемка шельфа, работы в Мировом океане и Антарктике, картосоставительские, картоиздательские и другие работы, их научно-методическое и информационное обеспечение.

Виды, масштабы, последовательность и комплексность работ по региональному геологическому изучению недр определяются с учетом достигнутой степени геологической изученности, результатов предшествующих минерагенических построений и потребностей социально-экономического развития отдельных территорий и Российской Федерации в целом.

Региональное геологическое изучение недр Российской Федерации включает функционально связанный комплекс площадных и профильных работ общегеологического и специального назначения на суше и континентальном шельфе России. Площадные работы проводятся в масштабах:- 1:1500000 и мельче - сводное и обзорное геологическое картографирование;- 1:1000000 (1:500000) - мелкомасштабное геологическое картографирование;- 1:200000 (1:100000) - среднемасштабное геологическое картографирование;- 1:50000 (1:25000) - крупномасштабное геологическое картографирование.

Основной задачей сводного и обзорного геологического картографирования территории Российской Федерации масштаба 1:1500000 и мельче является составление карт и атласов, обобщающих геологическую информацию о геологическом строении и минерагении крупных территорий,

осуществление широких межрегиональных и глобальных геологических построений и сопоставлений.

Объектами изучения являются: территория РФ, включая глубинные части земной коры, крупные геолого-структурные регионы, артезианские бассейны, горнорудные и нефтегазоносные районы, континентальный шельф, исключительная экономическая зона.

В состав работ входит анализ и обобщение имеющихся (преимущественно масштаба 1:1000000 и 1:200000) материалов по геологическому строению и минерагении исследуемой территории, при необходимости выполняются минимальные объемы полевых исследований.

Конечный результат - сводные и обзорные карты геологического содержания, включая прогнозно-минерагенические, геологические атласы, геолого-геофизические и другие профили, их цифровые и электронные модели.

Основной задачей мелкомасштабного (1:1000000, 1:500000) картографирования является комплексное геологическое изучение суши и континентального шельфа Российской Федерации с целью создания Государственных карт геологического содержания масштаба 1:1000000 в аналоговой и цифровой формах с электронными базами данных, формирующих банк фундаментальной геологической, гидрогеологической, геофизической, геохимической, минерагенической, геолого-экономической, эколого-геологической и другой информации, обеспечивающей разработку и реализацию стратегических вопросов изучения и рационального использования недр, развитие геологической науки, знаний о геологическом строении и моделях прогнозируемых типов месторождений, гидрогеологических и инженерно-геологических условиях, нефтегазоносном и минерагеническом потенциале суши и континентального шельфа, динамике геологических процессов и явлений.

Объектами изучения являются территории отдельных номенклатурных листов, крупные геолого-структурные блоки, минерагенические провинции и субпровинции, административные и экономические районы, глубинные части

земной коры и верхней мантии, континентальный шельф, исключительная экономическая зона Российской Федерации.

Основными видами работ этого масштаба являются геологические, аэрокосмические, геофизические, геохимические, гидрогеологические, инженерно-геологические, эколого-геологические съемки суши и континентального шельфа РФ, геодинамические, прогнозно-минерагенические и другие специальные и тематические исследования. Они выполняются самостоятельно или в различном сочетании в зависимости от решаемых задач, геологического строения и минерагенического потенциала региона, степени его изученности, качества имеющейся геологической, геофизической и другой информации.

Конечным результатом мелкомасштабного геологического картографирования территории РФ являются Государственные карты геологического содержания масштаба 1:1000000. Они создаются на основе обобщения всех ранее полученных материалов геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, эколого-геологических и других съемок масштаба 1:200000 и крупнее с использованием геофизических, геохимических, аэрокосмических и других данных, а также материалов по геотраверсам, глубоким и сверхглубоким скважинам и геодинамическим полигонам.

Среди Государственных карт геологического содержания масштаба 1:1000000 важнейшая роль принадлежит комплектам полистной Государственной геологической карты Российской Федерации, включающей в качестве обязательных карту дчетвертичных образований, карту четвертичных образований и карту полезных ископаемых с качественной характеристикой ресурсов.

Основной задачей среднемасштабного геологического картографирования является комплексное геологическое изучение суши и континентального шельфа Российской Федерации с составлением Государственных карт геологического содержания (геологических, геолого-экономических, гидрогеологических и др.) масштаба 1:200000 в аналоговой и

цифровой формах с базами данных, которые в совокупности выступают в качестве основного источника информации для определения закономерностей формирования и размещения месторождений полезных ископаемых, локального прогноза и предварительной оценки выявленных перспективных площадей и прогнозируемых месторождений минерального сырья.

Обновленные данные о геологическом строении и минерагеническом потенциале служат основой для долго-, средне- и краткосрочного прогноза эффективного развития минерально-сырьевой базы, выбора перспективных площадей и объектов для постановки поисковых работ, использования и охраны недр, а также других аспектов хозяйственной деятельности и регулирования недропользования.

Объектами изучения являются регионы Российской Федерации и, в первую очередь, горнорудные, нефтегазоносные, важнейшие экономически освоенные и экологически напряженные районы, а также шельф и исключительная экономическая зона.

В состав региональных исследований масштаба 1:200000 (1:100000) входят картографические работы, геологическая (ГС), гидрогеологическая, инженерно-геологическая съемки, прогнозно-минерагенические, геолого-экономические и эколого-геологические исследования, геологическое (ГДП), гидрогеологическое (ГГД) доизучение ранее заснятых площадей, объемное (ОГК), глубинное (ГГК) геологическое картирование и другие виды работ. Гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемки и гидрогеологическое доизучение ранее заснятых площадей могут комплексироваться с геолого-экологическими и соответствующими видами геологических съемок. Работы этого масштаба проводятся в комплексе с опережающими и сопровождающими аэрокосмическими, геофизическими, геохимическими съемками, геоморфологическими и другими специальными исследованиями, которые в зависимости от степени изученности территории и решаемых задач могут выполняться самостоятельно или в различных сочетаниях.

При этом полистные и групповые геологические, гидрогеологические съемки, геологические съемки шельфа и другие работы масштаба 1:200000 проводятся на площадях, ранее не изучавшихся в данном масштабе.

В районах, где такие работы проводились, однако имеющиеся карты геологического содержания не отвечают современным требованиям, проводится геологическое, прогнозно-минерагеническое, гидрогеологическое и другие виды доизучения.

В районах двух- и трехъярусного строения, где объекты изучения, в первую очередь перспективные на обнаружение полезных ископаемых, залегают на значительных, но доступных для освоения глубинах, проводится объемное или глубинное геологическое картирование.

Для хорошо изученных районов, обеспеченных геологическими и другими специализированными картами масштаба 1:50000, Государственные карты геологического содержания масштаба 1:200000 составляются преимущественно камеральным путем с минимальным объемом полевых рекогносцировочных и других работ, нацеленных на решение конкретных геологических задач, в том числе задач локального прогноза месторождений полезных ископаемых.

При составлении листов Государственных карт геологического содержания используются данные ранее выполненных геологосъемочных работ всех масштабов, результаты геофизических, геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических и экологических работ, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, материалы дистанционного зондирования, результаты работ по геотраверсам, глубинному и опорному бурению и т.п.

Конечным результатом региональных исследований масштаба 1:200000 является создание полистных Государственных карт геологического содержания масштаба 1:200000. В состав комплекта Госгеолкарты-200 в качестве обязательных включаются геологическая карта дочетвертичных образований, карта четвертичных отложений, карта полезных ископаемых и

закономерностей их размещения; в районах двух- и трехъярусного строения - геологическая карта погребенной поверхности.

В результате ГСР-200 выявляются и оконтуриваются прогнозные площади (минерагенические зоны, бассейны, рудные районы и узлы, угленосные площади), дается комплексная оценка или переоценка изученной территории с определением перспектив обнаружения месторождений прогнозируемых геолого-промышленных типов и оценкой прогнозных ресурсов объектов ранга бассейна, рудного района, узла, потенциального месторождения по категориям P_2 и P_3 .

Основной задачей крупномасштабного геологического картографирования является геологическое изучение недр в масштабе 1:50000 (1:25000) с целью прогноза и выявления локальных площадей и структур, перспективных для обнаружения месторождений полезных ископаемых, обоснования эколого-геологических и других мероприятий по охране окружающей среды.

Объектом изучения являются перспективные на выявление месторождений полезных ископаемых минерагенические зоны и рудные узлы, части продуктивных бассейнов, районы интенсивного промышленного и гражданского строительства, мелиоративных и природоохранных мероприятий, площади развития техногенных отложений, территории с напряженной экологической обстановкой.

В состав работ масштаба 1:50000 входят геологические (ГС-50, ГДП-50, ГГК-50), гидрогеологические и эколого-геологические съемки, опережающие и сопровождающие их дистанционные и наземные геофизические, геохимические, геоморфологические, прогнозно-минерагенические и другие исследования, которые могут выполняться самостоятельно в порядке специализированного изучения или доизучения ранее заснятых площадей.

При геологосъемочных работах этого масштаба производится изучение участков распространения полезных ископаемых, установление геологической природы выявленных геофизических и геохимических аномалий, выделение новых или уточнение параметров известных рудных полей и других

прогнозных площадей и перспективных участков с оценкой прогнозных ресурсов.

Конечным результатом регионального геологического изучения недр масштаба 1:50000 являются комплект обязательных и специальных геологических карт, комплексная оценка перспектив изученной территории с уточнением прогнозных ресурсов категории P_3 , выделением рудных полей и угленосных площадей, оценкой по ним прогнозных ресурсов категорий P_2 . Даются рекомендации для постановки поисковых работ, а также оценка состояния и прогноз изменений геологической среды.

С целью исследования общих геолого-геофизических закономерностей строения недр и их физического состояния, выявления глубинных причин возникновения природных процессов, условий формирования и размещения месторождений полезных ископаемых проводится глубинное изучение недр с использованием параметрических и сверхглубоких скважин и геофизических методов. Объектами изучения являются важнейшие нефтегазоносные, горнорудные, сейсмоопасные и другие районы страны, исследования которых актуальны для расширения минерально-сырьевой базы, оценки степени промышленного загрязнения, геологических опасностей (землетрясения и т.п.), а также геотраверсы, геологические и геодинамические полигоны. На основе глубинного изучения недр составляются комплекты карт и схем глубинного строения территории страны и отдельных ее регионов.

Этап II. Поиски и оценка месторождений

Поиски и оценка проводятся с целью прогноза, выявления и предварительной оценки месторождений полезных ископаемых, которые по своим геологическим, экологическим условиям и технико-экономическим показателям пригодны для рентабельного освоения.

На этапе II выделяются стадии:

- стадия 2 "Поисковые работы" - поиски на новых или недостаточно изученных площадях с целью выявления месторождений полезных ископаемых и определения их перспективности для дальнейшего изучения;

- стадия 3 "Оценочные работы" - работы на известных или вновь выявленных при поисковых работах объектах минерального сырья с целью определения их промышленной ценности.

Работы этих стадий могут проводиться самостоятельно или совмещаться в рамках одного лицензионного соглашения. На условиях предпринимательского риска лицензия может предоставлять право на совмещение поисковых и оценочных работ с разведкой и освоением месторождения. Конкретные задачи, полнота, комплексность исследований, конечные геологические результаты и другие условия производства работ отражаются в условиях лицензионного соглашения и геологическом задании.

Стадия 2. Поисковые работы

Объектами исследований при поисковых работах являются бассейны, рудные районы, узлы и поля или их части, выявленные в процессе предшествующей стадии регионального геологического изучения недр и прогнозирования полезных ископаемых и по которым имеется оценка прогнозных ресурсов категорий P_3 и P_2 . Поисковые работы могут производиться также на ранее опоскованных площадях, если это обусловлено изменением представлений о геологическом строении и рудоносности перспективных площадей, изменением конъюнктуры минерального сырья, увеличением глубинности исследований или внедрением современных более эффективных технологий поисковых работ и обработки их результатов, а также на площадях распространения техногенных образований, как возможного источника минерального сырья.

В зависимости от сложности геологического строения территории, формационного типа прогнозируемого оруденения и глубинности исследований поиски могут проводиться в масштабах 1:200 000-1:10000. Они включают комплекс геолого-минерагенических, геофизических, геохимических и других видов и методов исследований с проходкой поисковых скважин и поверхностных горных выработок. Для поисков скрытых и погребенных месторождений используется глубокое бурение в сочетании с скважинными геофизическими и геохимическими

исследованиями. Рациональный комплекс методов формируется на основе особенностей геологического строения объекта, ландшафтно-геохимических условий производства работ и накопленного в отрасли опыта применения прогнозно-поисковых комплексов для различных видов полезных ископаемых и промышленных типов месторождений.

По совокупности полученной геологической, геофизической и геохимической информации и ее комплексной интерпретации выделяются перспективные аномалии, участки. Проверка природы геофизических и геохимических аномалий, вскрытие, опробование и изучение проявлений тел полезных ископаемых осуществляется поверхностными горными выработками и поисковыми скважинами. В отобранных пробах определяется содержание основных и попутных компонентов, в необходимых случаях - технологические свойства руд.

Основным результатом поисковых работ является геологически обоснованная оценка перспектив исследованных площадей. На выявленных проявлениях полезных ископаемых оцениваются прогнозные ресурсы категорий P_2 и P_1 . По материалам поисковых работ составляются геологические карты опосредованных участков в соответствующем масштабе и разрезы к ним, карты результатов геофизических и геохимических исследований, отражающие геологическое строение и закономерности размещения продуктивных структурно-вещественных комплексов. В отчете приводятся основные результаты работ, включающие геолого-экономическую оценку выявленных объектов по укрупненным показателям и рекомендации о целесообразности и очередности дальнейшего проведения работ.

Выявленные и положительно оцененные проявления включаются в фонд объектов, подготовленных для постановки оценочных работ и выдачи соответствующих лицензий.

Стадия 3. Оценочные работы

Оценочные работы проводятся на выявленных и положительно оцененных проявлениях полезных ископаемых. Для оконтуривания площади и изучения геолого-структурных особенностей потенциально промышленного

месторождения проводится геологическая съемка и составляется геологическая карта масштаба 1:25000-1:10000 для крупных и масштаба 1:5000-1:1000 для сложных и небольших месторождений. Геологическая съемка сопровождается детальными минералого-петрографическими, геофизическими и геохимическими исследованиями. Изучение рудовмещающих структурно-вещественных комплексов, вскрытие и прослеживание тел полезных ископаемых осуществляется с поверхности канавами, шурфами, поисково-картировочными скважинами.

Изучение на глубину осуществляется преимущественно буровыми скважинами до горизонтов, обеспечивающих вскрытие рудоносных структурно-вещественных комплексов, а при глубоком их залегании - до горизонтов, экономически целесообразных для разработки с использованием современных технологий освоения месторождений. При высокой степени изменчивости полезной минерализации или при сильно расчлененном рельефе для изучения объекта на глубину возможно применение подземных горных выработок.

Все вскрытые в естественных и искусственных обнажениях выходы полезной минерализации подвергаются опробованию и анализу на основные и попутные компоненты. В необходимых объемах проводится контроль качества отбора и обработки проб и их анализов.

Технологические свойства полезного ископаемого определяются по лабораторным, а в необходимых случаях - по малым или большим технологическим пробам, отобранным по результатам геолого-технологического картирования по основным природным разновидностям; намечается принципиальная схема переработки руд, обеспечивающая комплексное использование полезного ископаемого, определяются возможные технологические показатели.

В скважинах и горных выработках осуществляется комплекс гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических и др. наблюдений и исследований в объемах, достаточных для обоснования способа вскрытия и разработки месторождения, определения источников

водоснабжения, возможных водопритоков в горные выработки и очистное пространство. Определяются факторы, негативно влияющие на показатели горного предприятия. Дается характеристика экологических условий производства добычных работ и оценка их влияния на природную среду. При оценке гидрогеологических, инженерно-геологических, экологических и других природных условий разработки месторождения используются соответствующие показатели известных и отрабатываемых в районе месторождений.

В результате оценочных работ степень геологической изученности месторождения, качества, вещественного состава и технологических свойств полезных ископаемых, а также горно-геологических условий эксплуатации должна обеспечить оценку промышленного значения месторождения с подсчетом всех или большей части запасов по категории C_3 . По менее детально изученной части месторождения оцениваются количественно и качественно прогнозные ресурсы категории P_1 с указанием границ, в которых проведена их оценка. Достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезных ископаемых подтверждается на участках детализации с подсчетом разведанных запасов категории C_2 .

Геолого-экономическая оценка объектов является обязательной частью комплекса работ и осуществляется систематически в процессе проведения работ и по их завершении. При поисковых работах и в начальный период оценочных работ периодически проводится оперативная геолого-экономическая оценка прямым расчетом по укрупненным показателям. По результатам оперативной оценки принимаются обоснованные решения о целесообразности продолжения работ или их прекращения на конкретном участке, проявлении, месторождении.

После завершения стадии "Оценочные работы" разрабатываются кондиции и составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором дается экономически обоснованная предварительная оценка промышленной ценности месторождения, определяется целесообразность передачи объекта в разведку и освоение. Отчет с результатами подсчета запасов, включая

обоснование "временных" кондиций, и технико-экономический доклад представляются на государственную геологическую, экономическую и экологическую экспертизу. Содержание отчета и ТЭО кондиций, а также перечень обязательных текстовых и графических приложений определяются инструкциями по содержанию, оформлению и порядку представления на государственную экспертизу материалов ТЭО кондиций и подсчета запасов. Заключение государственной экспертизы является основанием для постановки запасов на государственный учет.

По результатам оценочных работ производится подготовка пакета геологической информации для проведения конкурса или аукциона на предоставление лицензии на разведку и добычу полезных ископаемых.

Этап III. Разведка и освоение месторождения

Геологоразведочные работы на данном этапе проводятся с целью изучения геологического строения вновь выявленных и ранее разведывавшихся месторождений, получения информации о количестве и качестве запасов, минеральном и химическом составе полезного ископаемого, его технологических свойствах и других особенностях месторождения с полнотой и достоверностью, обеспечивающих промышленную оценку месторождения, обоснование решения о порядке и условиях вовлечения его в промышленное освоение, а также о проектировании строительства или реконструкции на его базе горного предприятия. На этапе III выделяются стадии:

- стадия 4. Разведка месторождения;
- стадия 5. Эксплуатационная разведка.

Технология и технические средства производства геологоразведочных работ, объемы, комплексы видов и методов исследований, последовательность и детальность изучения частей и участков месторождения определяются недропользователем с соблюдением действующих стандартов (норм, правил) в области геологического изучения недр, учета запасов полезных ископаемых, контроля за полнотой и качеством их извлечения, а также других условий

недропользования, включенных в лицензию на право разведки и добычи полезного ископаемого.

Стадия 4. Разведка месторождения

Объектом геологического изучения при разведочных работах является закрепленная лицензией в виде горного отвода часть недр, включающая полностью или частично месторождение полезных ископаемых. По целям и совокупности основных решаемых задач разведочные работы данной стадии подразделяются на:

- осуществляемые с целью получения информации для проектирования строительства горнодобывающего предприятия;

- проводимые в процессе освоения месторождения с целью расширения и укрепления минерально-сырьевой базы действующего или реконструируемого горного предприятия (доразведка месторождения). Между этими работами нет строго регламентированных временных или пространственных границ, если это не оговорено в лицензии.

При разведочных работах завершается изучение геологического строения месторождения с поверхности с составлением на инструментальной основе геологической карты. В зависимости от промышленного типа месторождения, его размеров, сложности строения, характера распределения и степени изменчивости тел полезных ископаемых геологическая съемка проводится в масштабе 1:10000-1:1000 с применением комплекса геофизических и геохимических методов исследований. Приповерхностные части месторождения вскрываются горными выработками (канавы, траншеи, шурфы) и мелкими скважинами. Все выходы тел полезных ископаемых прослеживаются и опробуются с детальностью, позволяющей выявить формы, строение и условия их залегания, установить интенсивность проявления зоны окисления, вещественный состав и технологические свойства окисленных и смешанных руд.

Разведка месторождений на глубину проводится скважинами до горизонтов, разработка которых экономически целесообразна. Месторождения сложного строения разведываются скважинами в сочетании с подземными

горными выработками. В случае отработки месторождения подземным способом расположение разведочных горных выработок должно обеспечивать максимально возможное их использование при эксплуатации.

Последовательность и объемы разведочных работ, соотношение горных и буровых выработок, форма и плотность разведочной сети, методы и способы отбора рядовых, групповых и технологических проб определяются исходя из геологических особенностей разведываемого месторождения с учетом возможностей горных, буровых и геофизических средств разведки.

Вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучаются с детальностью, достаточной для проектирования рациональной технологии их переработки с комплексным извлечением полезных компонентов.

Гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические условия изучаются с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных для составления проекта разработки месторождения.

Выполняются работы по изучению и оценке запасов полезных ископаемых, залегающих совместно с основными, дается оценка возможных источников хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения, производятся работы по выявлению местных строительных материалов. Разрабатываются схемы размещения объектов промышленного и гражданского назначения и природоохранные мероприятия.

По результатам разведочных работ разрабатывается технико-экономическое обоснование (ТЭО) постоянных разведочных кондиций, производится подсчет запасов основных и попутных полезных ископаемых и компонентов по категориям в соответствии с группировкой месторождений по сложности строения, дается детальная экономическая оценка промышленной ценности месторождения. Достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого подтверждается на представительных для всего месторождения участках детализации с квалификацией запасов на них по более высоким категориям разведанности.

Пространственное размещение и количество разведанных запасов, их соотношение по категориям устанавливаются недропользователем с учетом конкретных геологических особенностей месторождения, условий финансирования и строительства горнодобывающего предприятия и принятого уровня предпринимательского риска капиталовложений.

Технико-экономическое обоснование освоения месторождения, материалы подсчета запасов и результаты геолого-экономической оценки, включая обоснование постоянных разведочных кондиций, подлежат государственной геологической, экономической и экологической экспертизе.

Повторная государственная экспертиза проводится по инициативе государственных органов или недропользователей в случаях:

- выявления в процессе освоения месторождения дополнительных природных и экономических факторов, существенно влияющих на оценку его промышленного значения и нарушающих условия лицензирования;

- значительного изменения количества и качества запасов по сравнению с ранее утвержденными.

В случае существенного изменения технико-экономических показателей освоения месторождения в сравнении с установленными по результатам оценочных работ, на основании которых была выдана лицензия, недропользователь имеет право до начала освоения месторождения обратиться в соответствующий орган управления государственным фондом недр по поводу повторной государственной экспертизы и пересмотра условий лицензирования.

При проектировании, вскрытии и эксплуатационных работах в пределах горного отвода продолжается разведка с целью изучения геологического строения месторождения, выявления и оконтуривания новых залежей и тел полезных ископаемых на флангах, глубоких горизонтах с переводом запасов категории C_2 в C_1 , В, А. Уточняются вещественный состав, технологические свойства полезного ископаемого и горногеологические условия эксплуатации по ранее недостаточно изученным участкам.

Стадия 6. Эксплуатационная разведка

Эксплуатационная разведка проводится в течение всего периода освоения месторождения с целью получения достоверных исходных данных для безопасного ведения работ, оперативного планирования горно-подготовительных, нарезных и очистных работ и обеспечения наиболее полного извлечения из недр запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов. Объектами изучения и оценки являются эксплуатационные этажи, блоки, уступы и другие участки месторождения в зависимости от принятой системы вскрытия, подготовки и отработки месторождения.

Основными задачами эксплуатационной разведки являются уточнение контуров, вещественного состава и внутреннего строения тел полезного ископаемого, количества и качества запасов по технологическим типам и сортам руд с их геометризацией, уточнение гидрогеологических, горнотехнических и инженерно-геологических условий отработки по отдельным участкам, горизонтам, блокам.

По результатам эксплуатационной разведки производится уточнение схем подготовки и отработки тел полезного ископаемого, подсчитываются запасы подготовленных к отработке блоков и запасы, готовые к выемке.

В состав работ стадии входят проходка специальных разведочных выработок, бурение скважин, шпуров, опробование различными методами, геофизические исследования.

Для обеспечения рационального использования недр постоянно ведется учет потерь и разубоживания полезного ископаемого с группировкой потерь по месту их образования, определяются показатели извлечения количества полезного ископаемого и изменения его качества. Достоверность учета полноты и качества извлечения полезных ископаемых из недр подлежит проверке со стороны органов государственного геологического контроля.

Эксплуатационные кондиции разрабатываются на ограниченный временной период и должны быть привязаны к конкретным частям тел полезного ископаемого.

Таблица 4 - Этапы и стадии геологоразведочных работ (твердые полезные ископаемые)

Этап, стадия	Объект изучения	Цель работ	Основной конечный результат
1	2	3	4
<p>Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения.</p> <p>Стадия 1. Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых.</p>	<p>Территория Российской Федерации, ее крупные геолого-структурные, административные, экономические, горнорудные и нефтегазоносные регионы, шельф и исключительная экономическая зона, глубинные части земной коры, районы с напряженной экологической обстановкой, районы интенсивного промышленного и гражданского строительства, мелиоративных и природоохранных работ и др.</p>	<p>Создание фундаментальной многоцелевой геологической основы прогнозирования полезных ископаемых, обеспечение различных отраслей промышленности и сельского хозяйства систематизированной геологической информацией для решения вопросов в области геологоразведочных работ, горного дела, мелиорации, строительства, обороны, экологии и т.п.</p>	<p>Комплекты обязательных и специальных геологических карт различного назначения масштабов 1:1000000, 1:200000 и 1:50000; сводные и обзорные карты геологического содержания масштабов 1:1500000 и мельче, комплект карт, схем и разрезов глубинного строения недр Российской Федерации и ее регионов; комплексная оценка минерагенического потенциала изученных территорий с выделением перспективных рудных районов и узлов, зон, угленосных бассейнов; определение прогнозных ресурсов категорий P_3 и P_2; оценка состояния геологической среды и прогноз ее изменения</p>
<p>Этап II. Поиски и оценка месторождений.</p>			

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
<p>Стадия 2. Поисковые работы</p>	<p>Бассейны, рудные районы, узлы и поля с оцененными прогнозными ресурсами категорий P_3 и P_2</p>	<p>Геологическое изучение территории поисков: выявление проявлений и месторождений полезных ископаемых; определение целесообразности их дальнейшего изучения</p>	<p>Комплексная оценка геологического строения и перспектив исследованных площадей, выявленные проявления и месторождения полезных ископаемых с оценкой их прогнозных ресурсов по категориям P_2 и P_1; оценка возможности их освоения на основе укрупненных показателей; обоснование целесообразности и очередности дальнейших работ</p>
<p>Стадия 3. Оценочные работы</p>	<p>Проявления и месторождения полезных ископаемых с оцененными прогнозными ресурсами категорий P_2 и P_1</p>	<p>Геологическое изучение и геолого-экономическая оценка проявлений и месторождений; отбраковка проявлений, не представляющих промышленной ценности</p>	<p>Месторождения полезных ископаемых с оценкой их запасов по категориям C_3 и C_2, а по менее изученным участкам - прогнозных ресурсов категории P_1; технико-экономическое обоснование временных кондиций и промышленной ценности месторождения</p>
<p>Этап III. Разведка и освоение месторождений.</p>			

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4
Стадия 4. Разведка месторождения	Месторождения полезного ископаемого с оцененными запасами по категориям С ₂ и С ₁ и прогнозными ресурсами категории Р ₁	Изучение геологического строения, технологических свойств полезного ископаемого, гидрогеологических, инженерно-геологических условий отработки месторождения; технико-экономическое обоснование промышленной ценности и освоения месторождения: уточнение геологического строения месторождения в процессе освоения на недостаточно изученных участках (фланги, глубокие горизонты) с переводом запасов из низших в более высокие категории	Геологические, гидрогеологические, горногеологические, технологические и другие данные, необходимые для составления технико-экономического обоснования постоянных кондиций и освоения месторождения; подсчитанные запасы по категориям А, В, С ₁ и С ₂
Стадия 5. Эксплуатационная разведка	Эксплуатационные этажи, горизонты, блоки, уступы, подготавливаемые для очистных работ	Уточнение полученных при разведке данных для оперативного планирования добычи, контроль за полнотой и качеством отработки запасов	Запасы подготовленных и готовых к выемке блоков; исходные материалы для оценки полноты отработки месторождения, уточнение потерь и разубоживания полезного ископаемого

В процессе разработки месторождения при резком отклонении в отдельных частях месторождения геологических, горнотехнических, технологических и иных условий отработки, принятых в разведочных кондициях, а также в связи с изменением рыночной конъюнктуры на продукцию горного предприятия или других факторов, недропользователь имеет право разработать ТЭО эксплуатационных кондиций.

На протяжении всего этапа разведки и освоения месторождения ведется учет движения разведанных запасов по рудным телам, блокам и месторождению в целом с оценкой изменений запасов в результате их прироста, погашения, пересчета, переоценки или списания с баланса горного предприятия. Информация по движению запасов, добыче, потерях и обеспеченности предприятия разведанными запасами передается в установленном порядке в федеральный и территориальный фонды геологической информации.

Контрольные вопросы

1 Назовите основные этапы и стадии геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые?

2 Охарактеризуйте первый этап геологоразведочных работ (работы общегеологического и минерагенического назначения).

3 Назовите основной конечный результат 1 стадии (региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых).

4 Охарактеризуйте второй этап геологоразведочных работ (поиски и оценка месторождений).

5 Что является целью второй стадии (поисковые работы)?

6 Какие виды работ проводятся в третий этап (разведка и освоение месторождений)?

7 Что является объектом четвертой стадии геологоразведочного процесса (разведка месторождения)?

8 Цели пятой стадии геологоразведочного процесса (эксплуатационная разведка)?

9 Категории ресурсов и запасов соответствующие стадиям геологоразведочного процесса?

4 Геологические основы поисков и разведки полезных ископаемых

4.1 Общая характеристика критериев потенциальной рудоносности недр

Под критериями потенциальной рудоносности недр подразумевается совокупность отличительных признаков геологических образований, определяющая перспективы выявления полезных ископаемых в пределах изучаемых участков недр. Критерии как средства для решения поставленной задачи включают предпосылки и признаки потенциальной рудоносности недр.

Предпосылками рудоносности принято называть совокупность геологических факторов, определяющих условия нахождения полезных ископаемых в земной коре. Выявление и учет этих факторов способствуют положительной оценке перспектив рудоносности изучаемых территорий и повышают вероятность обнаружения полезных ископаемых в их пределах.

Признаками рудоносности называются факторы, указывающие на присутствие полезного ископаемого в пределах изучаемого объема недр. По степени достоверности признаки разделяются на прямые — непосредственно указывающие на наличие полезных ископаемых и косвенные — свидетельствующие о большой вероятности их обнаружения.

Уверенное прогнозирование потенциальной рудоносности конкретных объемов недр возможно лишь по совокупности благоприятных геологических предпосылок и признаков, при условии соразмерности критериев рудоносности с объемами геологоразведочных работ и с учетом эмпирических закономерностей распределения месторождений полезных ископаемых в недрах.

4.2 Геологические предпосылки рудоносности

Для выявления геологических предпосылок используются рудоконтролирующие факторы, отражающие возрастные, вещественные и

пространственные связи между геологическими объектами и их потенциальной рудоносностью. Возрастные связи находят свое выражение в стратиграфических, вещественные — в литологических, магматических и минералого-геохимических, а пространственные — в структурных и геоморфологических предпосылках рудоносности изучаемых территорий.

Выяснению условий совместного проявления перечисленных факторов и особенностей формирования полезных ископаемых в конкретной геологической обстановке способствует применение методов формационного и фациального анализов геологических образований.

Стратиграфические предпосылки основаны на закономерных связях полезных ископаемых с геологическими образованиями определенного возраста.

Для целей крупномасштабного прогнозирования использование стратиграфических предпосылок, как правило, малоэффективно, за исключением угольных и некоторых других осадочных месторождений, для которых могут быть установлены устойчивые связи пачек и пластов полезного ископаемого с отдельными свитами, горизонтами и пластами вмещающих пород.

Повышению эффективности локальных стратиграфических предпосылок способствуют данные ритмостратиграфических исследований, с помощью которых устанавливаются мезо- и микроритмы различных порядков с мощностями отдельных циклов осадочных пород от сотен метров до нескольких сантиметров.

В размещении пластов и пачек полезных ископаемых часто устанавливаются закономерные связи с определенными ритмами, что способствует повышению эффективности локальных, прогнозов.

Использование стратиграфических предпосылок для прогнозирования оруденения в пределах отдельных бассейнов или районов более эффективно, чем при локальном прогнозировании, поскольку связи полезных ископаемых с отдельными стратиграфическими подразделениями разрезов — ярусами или свитами — часто проявляются весьма отчетливо.

Использование стратиграфических предпосылок возможно и для региональных прогнозов эндогенного оруденения геосинклинальных областей.

Медноколчеданное оруденение Урала располагается в породах силурийско-девонского возраста полиметаллическое колчеданное оруденение Алтая — в осадочно-вулканогенных отложениях среднего отдела девона. Последние годы при использовании стратиграфических предпосылок эндогенного оруденения данные о возрасте вмещающих пород также дополняются результатами ритмостратиграфических исследований.

Литологические предпосылки основаны на использовании тесных связей многих полезных ископаемых с осадочными или осадочно-вулканогенными породами определенного состава [при поисках отдельных месторождений, зон или залежей полезных ископаемых, расположение которых зависит от размещения слоев, горизонтов или пластов вмещающих осадочных или вулканогенно-осадочных пород определенного состава.

Для целей прогнозирования рудных полей и месторождений полезных ископаемых литологические предпосылки используются как литолого-фациальные, отражающие специфические фациальные особенности рудоносных формаций и связи оруденения с типичными литофациями пород. Литолого-фациальные предпосылки успешно применяются для прогнозирования современных и погребенных россыпей, металлоносных кор выветривания, железо- и марганцеворудных горизонтов в пределах соответствующих рудных узлов и полей. В прибрежных терригенных марганценозных формациях наблюдается закономерная смена окисленных руд карбонатными по мере удаления от древней береговой линии. В этом же направлении песчанисто-конгломератовые фации постепенно сменяются алевролитоглинистыми.

При прогнозировании рудных бассейнов, районов и узлов литологические предпосылки используются как литолого-формационные, поскольку рудоносные геологические формации представляют собой разновидности тех или иных геологических формаций. Бассейны ископаемых углей, минеральных солей, фосфоритов, железных и марганцевых руд, районы медно- и полиметаллического колчеданного оруденения располагаются в тесной связи с образованиями соответственно песчано-глинистых угленосных, платформенных галогенных,

кремнисто-доломитовых, прибрежных песчано-кремнисто-глинистых, спилит-диабазовых или спилит-кератофировых кремнисто-яшмовых формаций. Марганценозные, бокситоносные и никеленосные коры выветривания также развиваются только на материнских породах соответствующих формаций.

Магматические предпосылки предполагают наличие генетических связей полезных ископаемых с магматическими проявлениями интрузивного или субвулканического типов. Однако в практике геологоразведочных работ часто отсутствуют убедительные доказательства генетического единства процессов эндогенного рудопроявления и магматизма.

Использование магматических предпосылок для целей локального прогнозирования возможно лишь для тех месторождений, зон и залежей, которые связаны с продуктивными рудоносными магматическими формациями. К их числу относятся формации ультраосновных и основных пород, содержащие в своем составе месторождения платиноидов, алмазов, хромшпинелидов, сульфидных медно-никелевых руд, титаномагнетитов и асбеста, а также формации щелочных и щелочно-ультраосновных пород с месторождениями ниобия, тантала, циркония, тория, редких земель и апатита. При локальном прогнозировании перечисленных рудных образований могут быть использованы не только связи оруденения с массивами магматических пород, но также петроструктурные и петрохимические особенности этих массивов, знание которые существенно уточняет прогнозы и оценку ожидаемого оруденения.

Наиболее широко магматические предпосылки рудоносности используются при региональном прогнозировании на основе формационного анализа магматических образований.

При прогнозировании рудных районов и узлов в качестве магматических предпосылок рудоносности используются пространственные связи оруденения с площадями развития рудоносных магматических комплексов, включающих все продуктивные и материнские формации.

Минералого-геохимические предпосылки основаны на существовании устойчивых связей между полезными ископаемыми и породообразующими,

аксессуарными или новообразованными минералами, их составом, морфологическими особенностями, физическими и геохимическими свойствами.

Методы поисковой минералогии способствуют решению многих общегеологических вопросов при проведении геологических съемок, поисковых и оценочных работ.

По изменениям содержаний элементов-примесей (например, лития, бериллия и олова в кварцах или железа, марганца и кадмия в сфалеритах) может быть выявлена зональность, соответственно, редкометалльных

На медно-молибденовых месторождениях с глубиной закономерно уменьшается содержание рения в молибдените, на ртутных месторождениях ромбоэдрические кристаллы киновари с глубиной сменяются пинакоидальными, а на флюоритовых месторождениях октаэдры флюорита с глубиной приобретают кубический габитус. На ряде полиметаллических месторождений Приморья с глубиной уменьшаются отношения $Sb : Bi$ и $Ag : Au$ в галенитах, а в пегматитах — $Rb : Ba$ и др.

Для прогнозирования слепого оруденения могут быть использованы данные о развитии надрудных метасоматитов, типоморфные особенности характерных минералов надрудных зон (топаза, слюд, шпинелей, пирита, арсенопирита, магнетита), а также жилы и зоны, сложенные безрудными минеральными ассоциациями (барит - над полиметаллическими месторождениями, халцедоновидный кварц, а еще выше каолин — над флюоритовыми месторождениями и др.).

Структурные предпосылки основаны на пространственных закономерностях размещения полезных ископаемых в геологических структурах различного масштаба. При условии соответствия масштабов рудоконтролирующих структурных элементов и рудоносных участков недр использование структурных предпосылок эффективно при любых масштабах геологоразведочных работ.

Отдельные рудные залежи и их участки располагаются в участках сопряжения или пересечения локальных трещинных структур в слоях и пачках пород, контрастных по физико-механическим свойствам, или контролируются элементами

прототектоники магматических пород, зонами эруптивных брекчий или другими локальными вулcano-тектоническими структурами. Часто рудные залежи локализуются в участках изгибов отдельных трещинных структур, в зонах межпластовых срывов или в системах мелкой пластовой трещиноватости.

Положение месторождений полезных ископаемых и крупных минерализованных зон контролируется участками сопряжения, пересечения, расщепления или изгибов тектонических ' нарушений.

Рудные узлы и поля располагаются в тектонических блоках второго и более высоких порядков, границы которых определяются коровыми разломами и сопряженными с ними крупными тектоническими нарушениями. Среди них выделяются секущие и согласные тектонические зоны, проницаемые для рудогенерирующих растворов.

Для целей региональных прогнозов полезных ископаемых используются связи рудных районов с конкретными структурноформационными зонами щитов, платформ, складчатых или активизированных областей.

Геоморфологические предпосылки основаны на существовании пространственных связей между размещением полезных ископаемых и характером современных или древних форм рельефа изучаемых территорий. Наиболее эффективно использование геоморфологических предпосылок для целей поисков и прогноза россыпей и металлоносных кор выветривания.

При прогнозировании эндогенного оруденения геоморфологические предпосылки используются для оценки уровней эрозионного среза изучаемых территорий, что способствует уточнению перспектив их потенциальной рудоносности.

4.3 Признаки рудоносности

Признаками рудоносности считаются любые геологические, геохимические, геофизические или иные факторы, прямо или косвенно свидетельствующие о наличии полезных ископаемых в пределах оцениваемых участков недр. К числу

прямых признаков относятся:

- проявления полезных ископаемых в естественных или искусственных обнажениях (рудные выходы);
- первичные ореолы и ареалы рассеяния полезных минералов и элементов;
- вторичные механические, лито-, гидро-, атмо-, биохимические ореолы, ареалы и потоки рассеяния полезных минералов : и элементов;
- геофизические аномалии;
- следы старых работ и признаки полезных ископаемых.

К косвенным признакам, сопутствующим оруденению, относятся:

- измененные околорудные породы;
- минералы и элементы-спутники оруденения;
- историко-географические и другие косвенные данные.

Проявления полезных ископаемых в естественных или искусственных обнажениях (рудные выходы) относятся к важнейшим признакам рудоносности, по которым можно судить не только о наличии полезных ископаемых, но и об их качестве и минеральных типах. Изучение и оценка рудных выходов часто затрудняются гипергенными изменениями полезных ископаемых и вмещающих пород, которые проявляются особенно интенсивно в сульфидных и других химически неустойчивых рудах.

Первичные ореолы рассеяния полезных минералов и элементов-индикаторов оруденения возникают во вмещающих породах одновременно с формированием рудных скоплений. По сравнению с последними они обладают значительно большими размерами и могут рассматриваться как их внешние зоны. Состав и концентрации химических элементов, формы, размеры и зональность первичных ореолов определяются геохимическими, минеральными, структурными и другими особенностями рудных скоплений и вмещающих их пород. Размеры первичных ореолов находятся в прямой зависимости от концентраций элементов в рудных скоплениях и в обратной зависимости от величин их геохимических фонов во вмещающих породах.

Вторичные ореолы и потоки рассеяния образуются под воздействием

процессов приповерхностного выветривания первичных рудных образований с последующим перемещением и рассеянием полезных минералов и элементов. В результате механического перемещения и рассеяния образуются крупнообломочные рудные развалы, глыбовые россыпи, делювиальные свалы, аллювиальные потоки, содержащие рудную гальку и шлихи, ареалы рассеяния рудных валунов в ледниковых отложениях.

При интенсивном химическом выветривании с последующим перемещением вещества в жидкой, газовой или тонкодисперсной твердой фазах формируются лито-гидро-, атмо- и биохимические ореолы или потоки рассеяния.

Вторичные остаточные литогеохимические ореолы образуются в корях выветривания и элювиально-делювиальных отложениях в географических зонах со слабо развитыми процессами физического выветривания. Они всегда содержат обломочные продукты первичных рудных скоплений и в большей или меньшей степени сохраняют черты строения и состава первичных ореолов. Вторичные наложенные литохимические ореолы формируются в рыхлых отложениях самого различного происхождения и представляют собой новообразования, оторванные от материнских источников. В тонкозернистых илистых аллювиальных отложениях образуются потоки рассеяния тонкодисперсных рудных минералов и элементов.

Геофизические аномалии, отражающие специфические свойства некоторых полезных ископаемых, также могут рассматриваться в качестве прямых признаков рудоносности.

К ним в первую очередь относятся контрастные магнитные, радиоактивные и электрические аномалии как признаки соответственно железорудного, торий-уранового и сульфидного оруденения.

К числу прямых признаков рудоносности относятся также следы старых работ: горных выработок, отвалов, древних плавок и т. п. с находками рудных обломков, шлаков или повышенных содержаний металлов в отвалах.

К числу важнейших косвенных признаков рудоносности относятся метасоматические изменения пород, типичные для большинства постмагматических месторождений полезных ископаемых. По характеру околорудных изменений

можно судить не только о потенциальной рудоносности оцениваемого участка, но и о формационном типе месторождений, составе и качестве руд. Например, со скарнами связаны проявления магнетитовых, шеелитовых, медных, золотых и полиметаллических, а с грейзенами — литиевых, бериллиевых, оловянных, вольфрамовых и молибденовых руд.

Минералы и элементы-спутники широко используются в качестве наиболее достоверных косвенных признаков рудоносности. Почти для каждого формационного типа месторождений полезных ископаемых удается в настоящее время выявить не только характерные элементы-спутники, но и минералы-индикаторы оруденения. Индикаторную роль могут играть:

- минералы-спутники, появление которых с большой долей вероятности свидетельствует о рудоносности данного участка земной коры;
- индикаторные минеральные ассоциации, использование которых в поисковых целях может резко повысить вероятность обнаружения полезного ископаемого;
- отдельные типоморфные черты минералов (особенно если они легко определяются);
- количество минерала-индикатора, которое часто заметно увеличивается по мере приближения к скоплениям полезных ископаемых,
- соотношение минералов и элементов-спутников.

К наиболее достоверным минералам-индикаторам оруденения относятся гипергенные минералы зон окисления сульфидных месторождений, пустоты выщелачивания рудных минералов, псевдоморфозы по ним и минералы-спутники, парагенные с полезными минералами, но встречающиеся чаще, чем полезные минералы (например, пиропы — спутники алмазов, лепидолиты или зеленые, розовые, бесцветные и полихромные турмалины - спутники редкометального оруденения и др.).

Сопутствующие элементы-спутники имеют то же значение при оценке геохимических ореолов, как и минералы-спутники при оценке шлиховых потоков.

К числу косвенных признаков рудоносности относятся также археологические

данные, свидетельствующие о развитии горного промысла, историко-географические сведения, зафиксированные в названиях гор, рек или населенных пунктов, геоботанические признаки о растениях — индикаторах повышенных концентраций некоторых элементов в почвах (например, галмейная фиалка, произрастающая на почвах, обогащенных цинком) и другие косвенные признаки.

Масштабы проявления критериев

По мере укрупнения масштабов геологоразведочных работ изменяются не только совокупности геологических предпосылок и признаков оруденения, но также масштабы проявления и назначение критериев рудоносности. При проведении специализированных геологических съемок они используются для целей прогнозирования рудных районов и узлов, при поисковых работах — для целенаправленного поиска рудных полей и месторождений, а при разведочных работах — для выявления новых рудных участков, залежей и более мелких рудных скоплений, их оконтуривания и оценки. Поэтому с целью объективного суждения о возможностях использования критериев рудоносности в их названиях желательно отражать сведения о размерах проявлений геологических предпосылок и признаков применительно к объектам оценки на изучаемом структурном уровне.

4.4 Прогнозные критерии рудоносности

Назначение прогнозных критериев и характеристики объектов оценки

Прогнозные критерии используются при специализированных прогнозно-металлогенических исследованиях и на стадиях регионально-геологических съемок для оценки перспектив рудоносности потенциальных рудных районов и узлов.

К рудным узлам относятся рудоносные территории, измеряемые сотнями (реже первыми тысячами) квадратных километров, охватывающие группы рудных полей, сближенных настолько, что разделяющие их безрудные площади становятся сопоставимыми по размерам с размерами рудных полей.

В пределах рудных узлов доминируют месторождения одного формационного типа, часто нескольких фациальных и многих минеральных

типов. Формирование всех этих месторождений может быть связано с одной или несколькими металлогеническими эпохами.

Группы пространственно сближенных рудных узлов, расположенных в единой геотектонической структуре, образуют в совокупности рудные районы, площади которых достигают тысяч и десятков тысяч квадратных километров.

Для рудных районов типичны месторождения двух и более формационных типов, образующие единый формационный ряд. Формирование этих месторождений может быть связано с одной или несколькими металлогеническими эпохами.

Многие пластовые месторождения и поля осадочного происхождения (например, ископаемые угли) группируются в районы, а совокупность районов образует бассейны. Группы нефтяных и газовых месторождений объединяются в зоны нефтегазонакопления, которые, в свою очередь, образуют нефтегазоносные бассейны, и т. д.

Методы изучения прогнозных критериев рудных районов и узлов

Разработка прогнозных критериев рудных узлов и районов наиболее эффективна на основе формационного анализа рудоносных скоплений и вмещающих их горных пород.

Применение формационного анализа для целей прогнозирования оруденения и оценки рудоносности изучаемых территорий заметно расширяет комплекс полезной геологической информации, так как при этом учитываются тесные связи между строением и составом геологических формаций и формационными типами месторождений полезных ископаемых, которые рассматриваются как их составляющие. С помощью регионального структурно-формационного анализа в пределах металлогенических провинций выявляются структурно-металлогенические зоны, рассматриваемые по предложению Ю. А. Билибина как самостоятельные металлогенические области. В пределах структурно-металлогенических зон на основе среднемасштабного структурно-формационного анализа выделяются формационные ряды геологических и рудных формаций, по совокупности которых оконтуриваются потенциальные рудные районы. Дальнейшая детализация

структурно-формационных особенностей районов приводит к выявлению рудоносных формаций горных пород и связанных с ними рудных формаций, что способствует оконтуриванию потенциальных рудных узлов ископаемых с предварительным их разделением на согласные, секущие и контактовые структурные типы.

Геологические предпосылки потенциальных рудных районов и узлов

Рудные районы часто ограничиваются долгоживущими глубинными и сопряженными с ними коровыми и подкоровыми магмоподводящими разломами.

Многие рудные районы древних щитов располагаются в зонах сопряжений архейских гранито-гнейсовых массивов с ранне- и среднепротерозойскими складчатыми системами или в пределах зеленокаменных поясов, представляющих собой древние линейные рифтогенные структуры, и протоконтинентальных массивов, развитых на корях гранодиоритового типа. В геосинклинальных поясах контуры рудных районов часто совпадают с очертаниями континентальных глыб (срединных массивов), звгеосинклинальных трогов, интрагеосинклинальных или интрагеоантиклинальных блоков. В областях тектономагматической активизации границы рудных районов определяются сочетаниями важнейших элементов рифтогенных структур.

Существенное значение для прогноза и оценки потенциальной рудоносности рудных районов имеют строение и состав слоев земной коры. На базальтовых корях океанического типа формируются рудные районы с медноколчеданным, хромитовым, титаномагнетитовым и другим базитовым оруденением, на двухслойных корях континентального типа умеренной мощности — районы с колчеданно-полиметаллическим, железорудным скарновым, стратиформным медным и полиметаллическим оруденением, а на корях с мощным гранитным слоем — районы с редкометальным, медно-молибденовым и флюоритовым оруденением.

Пространственные связи эндогенных рудных формаций, формационных рядов и комплексов с материнскими магматическими комплексами проявляются в пределах рудных районов исключительно отчетливо как для продуктивных

формаций, залегающих внутри материнских пород или в непосредственной близости от них, так и для многих формаций, расположенных вдали от материнских магматических пород, но в пределах широких ареалов их распространения (оловянных, золоторудных, полиметаллических, медно-молибденовых и др.). Поэтому использование магматических предпосылок для целей прогноза и оценки рудоносности потенциальных рудных районов, как правило, весьма эффективно.

Применение стратиграфических предпосылок в масштабах рудных районов эффективно для прогнозирования не только осадочных, но и многих эндогенных рудных формаций, так как для конкретных металлогенических областей и рудных районов часто удается устанавливать четкие и достаточно узкие эпохи или стратиграфические интервалы наиболее продуктивного рудообразования. На Урале подавляющее большинство медноколчеданных проявлений связано с узким стратиграфическим интервалом в пределах силура — нижнего девона, а железорудных скарновых проявлений — в пределах нижнего карбона.

В комплексе со стратиграфическими предпосылками для прогнозирования рудных районов успешно используются литолого-формационные предпосылки, отражающие устойчивые связи рядов и комплексов конкретных рудных формаций с формационными комплексами и ритмами осадочно-вулканогенных образований.

По преобладанию в разных вулканогенных или осадочных породах выделяются четыре главных типа формационных ритмов: гомодромный, антидромный, регрессивный и трансгрессивный.

В гомодромных ритмах спилитовые формации сменяются вверх по разрезу спилит-натриево-липаритовыми, т. е. в соответствии с нормальной эволюцией магматических очагов. При наличии в разрезах осадочных пород они образуют в гомодромных ритмах регрессивные ряды — от кремнистых, глинистых к флишоидным и далее к терригенно-вулканогенным молассоидным.

Ритмы антидромной последовательности обычно начинаются базальт-дацит-липаритовыми формациями, которые сменяются антидезит-базальтовыми или базальт-трахитовыми формациями.

Антидромной последовательности соответствуют, как правило,

трансгрессивные серии осадочных пород — от конгломератов и песчаников к глинистым и известковым породам.

В пределах рудных районов наиболее продуктивными являются участки разрезов, приуроченные к переходным зонам, в которых фиксируются смены типов ритмов по простиранию, т. е. переходы от трансгрессивных к регрессивным или от гомодромных к антидромным.

Структура формационных ритмов среднепалеозойских вулканогенно-осадочных отложений определяется сочетанием терригенных и карбонатных формаций. В общем разрезе выделяются два формационных ритма, охватывающих интервалы от эйфельского до франского ярусов среднего — верхнего девона и от франского яруса верхнего девона до турнейского яруса нижнего карбона, причем основные запасы колчеданно-полиметаллических руд сконцентрированы в верхней части нижнего ритма на участках палеоподнятий с сокращенными разрезами формаций рудоносных пород.

В качестве стратиграфических предпосылок прогнозирования марганцевых, бокситовых, фосфоритовых бассейнов или районов, а также погребенных россыпей широко используется их приуроченность к основаниям или базальным горизонтам трансгрессирующих серий.

В пределах Восточно-Европейской платформы широко развиты фосфоритовые горизонты, связанные с верхнеюрской и сеноманской трансгрессиями.

Многие вулканоплутонические и тектонические структуры центрального типа, сопоставимые по масштабам проявления с рудными узлами, обнаруживаются на космических снимках в виде кольцевых и овальных структур диаметрами порядка нескольких десятков километров, часто сопряженных с системами линейных разломов или осложненных ими.

Признаки потенциальных рудных районов и узлов

К числу наиболее достоверных прямых признаков потенциальных рудных узлов и районов относятся:

- ареалы нарушенного первичного распределения элементов-индикаторов в

горных породах и рыхлых автохтонных отложениях;

- ареалы потоков элементов и минералов-индикаторов в аллювиальных отложениях;

- повышенные концентрации элементов-индикаторов и спутников оруденения в поверхностных водотоках.

Важнейшими косвенными признаками являются:

- широкие ареалы эпигенетически измененных пород благоприятных руднометасоматических формаций;

- ареалы нарушенного первичного распределения элементов-спутников, потоки этих элементов в донных осадках и их повышенные концентрации в поверхностных водотоках.

Ареалы нарушенного первичного распределения элементов-индикаторов и спутников оруденения в горных породах и рыхлых автохтонных отложениях возникают под влиянием руднометасоматических процессов, охватывающих территории рудных районов и узлов. Площадное размещение ареалов для большинства постмагматических формаций полезных ископаемых примерно совпадает с ареалами развития эпигенетически измененных пород благоприятных руднометасоматических формаций. Рассеяние и концентрация элементов-индикаторов и спутников оруденения в ареалах эпипород приводит к изменениям характера связей между ними, их ассоциаций, форм их нахождения в породах, резкому увеличению степени неоднородности их пространственного размещения с образованием в пределах ареалов зон выноса и зон привноса отдельных элементов.

Ареалы протяженных потоков элементов или минералов-индикаторов и спутников оруденения в аллювиальных отложениях отличается сложным прерывистым строением. В пределах ареалов отдельные шлиховые потоки в разномзернистых аллювиальных отложениях часто переходят в потоки тонкодисперсных форм некоторых рудных минералов и солевые потоки элементов-индикаторов в илисто-глинистых донных осадках. Осаждение песчаной фракции тяжелых минералов-индикаторов и спутников оруденения в разномзернистых аллювиальных отложениях, так же как и формирование солевой фракции в

тонкозернистых илисто-глинистых осадках, происходит механическим путем соответственно на участках резких изменений скоростей течения водотоков или на участках замедленного течения вод. Солевые потоки элементов- индикаторов образуются в результате их переноса в виде истинных или коллоидных растворов поверхностными и подземными водами и осадения путем сорбции минеральными или органическими коллоидами тонкодисперсных глинисто-илистых фракций.

4.5 Поисковые критерии рудоносности

Назначение критериев и характеристики объектов оценки

Поисковыми критериями определяются перспективы рудоносности потенциальных месторождений полезных ископаемых и их рудных полей. Использование геологических предпосылок и признаков потенциальных месторождений и рудных полей эффективно на стадии поисковых работ для их целенаправленного прогнозирования и разбраковки перспективных площадей, интерпретации результатов и оценки прогнозных ресурсов полезных ископаемых. Поиски месторождений полезных ископаемых эффективны в пределах ранее оконтуренных потенциальных, (или установленных) рудных полей, а поиски рудных полей — в пределах потенциальных (или уже известных) рудных узлов.

В подавляющем большинстве случаев рудные месторождения встречаются не изолированно друг от друга, а группируются в рудные поля, представляющие собой единые в структурном отношении локальные участки земной коры размерами в десятки (реже первые сотни) квадратных километров, объединяющие группы пространственно сближенных рудных месторождений.

Использование критериев потенциальной рудоносности месторождений наиболее эффективно при проведении детальных поисков, а критериев потенциальной рудоносности рудных полей — при проведении крупномасштабных съемочно-поисковых работ.

П. Ф. Иванкиным (1970 г.) разработана методика объемного картирования и геометризации месторождений и рудных полей, близких по возрасту с

материнскими магматическими породами. Рудные месторождения и поля рассматриваются им как сложные рудномагматические системы, формы и особенности внутреннего строения которых отражают не только свойства вмещающей геологической среды, но и особенности развития постмагматического рудообразующего процесса.

Представление о рудных полях как об объемных трехмерных телах, обладающих определенными геометрическими и физическими свойствами, способствует эффективному использованию геофизических методов при крупномасштабном геологическом картировании. На основе этих представлений объектами исследования при съемочно-поисковых работах должны быть не отдельные месторождения, а рудные поля. Такой подход обеспечивает более уверенный прогноз перспектив рудоносности и способствует выявлению слепого оруденения с помощью современных геолого-геофизических методов, поскольку выявлению отдельных рудных залежей, обладающих локальными аномальными физическими полями (часто различными на разных эрозионных срезях), предшествует задача оконтуривания всего рудного поля, обладающего более устойчивым аномальным физическим полем.

Аналогичный подход возможен и к проведению геохимических исследований, сопровождающих крупномасштабное геологическое картирование перспективных рудных районов, если интерпретацию данных геохимического опробования поверхностных горных выработок, картировочных и структурных скважин начинать с выявления аномалий и первичных ореолов, определяющих структуру поля в целом, и только после этого переходить к выделению локальных аномалий, связанных с отдельными месторождениями.

Использование геохимических данных существенно повышает глубинность прогнозов в связи со значительной вертикальной протяженностью и отчетливой зональностью первичных ореолов элементов-индикаторов полезной минерализации.

Геологические предпосылки потенциальных рудных полей

Положение рудных полей в структурах рудных узлов определяется особенностями строения верхней части земной коры - тектоническими блоками

корового и верхнекорового происхождения. Многие рудные поля располагаются в тектонических узлах на сопряжениях или пересечениях коровых разломов с региональными тектоническими нарушениями различных порядков и ориентировки.

В пределах древних платформ положение рудных полей обычно контролируется системами коровых разломов, осложненных тектоническими нарушениями различных направлений, узлами их пересечения, изгибами по простиранию, участками сложного строения, часто с многочисленными проявлениями магматизма, горизонтами и пачками пород, обладающих контрастными физико-механическими свойствами.

В складчатых областях рудные поля часто располагаются в контактовых зонах орогенных и посторогенных интрузивных массивов, субвулканических интрузивных тел, в дайковых поясах или вулкано-тектонических структурах, в неоднородных складчатых толщах благоприятного литолого-фациального состава в связи со скрытыми («сквозными») коровыми или верхнекоровыми разломами.

В областях тектоно-магматической активизации рудные поля тяготеют к рифтогенным структурам, омоложенным коровым разломам с признаками отчетливого диафтореза, к краевым зонам наложенных впадин периодов тектоно-магматической активизации или к участкам интенсивной переработки складчатых толщ.

Примером эффективного использования поисковых стратиграфических предпосылок железорудных полей может служить выявление тесных связей железистых кварцитов с метаморфическими породами средней свиты криворожской серии протерозоя или стратиграфического положения оолитовых железистых руд Керченского бассейна в разрезах среднекиммерийских отложений среднего плиоцена.

Возможности использования магматических предпосылок для оценки перспектив рудоносности рудных полей ограничиваются кругом собственно магматических рудных формаций, а также рудных формаций, проявляющих тесные пространственные (и генетические) связи с материнскими интрузивными породами. К их числу относятся рудные поля хромитовых и асбестоносных гипербазитов,

титаномагнетитовых основных пород, скарновые рудные поля и редкометальные грейзены, поля нефелиновых сиенитов, карбонатитов, алмазоносных кимберлитов, сульфидных медно-никелевых и некоторых других формационных типов.

Признаки потенциальных рудных полей

К числу прямых признаков потенциальных рудных полей относятся:

- первичные локальные ареалы элементов-индикаторов оруденения в коренных породах;
- остаточные локальные ареалы элементов-индикаторов оруденения в рыхлых автохтонных элювиальных и элювиальноделювиальных отложениях;
- протяженные шлиховые потоки минералов-индикаторов оруденения, переходящие в тонкодисперсные потоки их механического рассеяния, в совокупности с литохимическими потоками элементов-индикаторов оруденения в тонкозернистых донных осадках;
- ареалы рассеяния элементов-индикаторов оруденения в растениях;
- аномальные магнитные, электромагнитные и радиационные поля.

Важнейшими косвенными поисковыми признаками рудных полей являются:

- первичные и остаточные локальные ареалы элементов-спутников оруденения;
- протяженные шлиховые потоки минералов-спутников индикаторных минеральных ассоциаций и потоки элементов-спутников оруденения в глинисто-илистых донных осадках;
- ареалы элементов-спутников оруденения в растениях;
- ареалы метасоматически измененных пород благоприятных руднометасоматических формаций.

Геологические предпосылки потенциальных месторождений полезных ископаемых

Рудоносные структуры месторождений полезных ископаемых сопоставимы по масштабам проявления с пачками вмещающих пород, связанных с литолого-фациальными зонами отложений, благоприятных для развития сингенетического или эпигенетического оруденения. Для многих пластовых и стратиформных

месторождений часто отчетливо проявляются их закономерные связи с определенными фаціальными ритмами в масштабах местных зон или слоев. Детальный литологический анализ состава и строения осадочных пород с применением ритмостратиграфических методов часто позволяет однозначно устанавливать положение почвы или кровли рудоносных пластов, а также нормальную последовательность пород, что весьма важно для правильных структурных построений. При оценке рудоносности эндогенных месторождений выявляются слои и пласты химически активных пород, особенно благоприятных для рудоотложения (известняков, доломитов, метасоматически измененных эффузивно-пирокластических пород и др.). В карбонатных породах встречаются скарновые месторождения меди, вольфрама, молибдена, золота, стратиформные свинцово-цинковые, мышьяковые, баритовые и флюоритовые месторождения. Песчаносланцевые толщи часто вмещают оловянное и оловянно-вольфрамовое оруденение и др.

Положение многих скарновых месторождений определяется морфологическими особенностями контактовых поверхностей интрузивных и карбонатных пород в сочетании с благоприятными тектоническими факторами. Так, положение полиметаллических месторождений в структурах Алтынтюпканского рудного поля определяется зоной контакта гранодиоритов с карбонатными породами верхнего девона —нижнего карбона в участках ее пересечения системами тектонических нарушений первого и второго порядков, оперяющих : крупный (верхнекоровый) разлом.

Признаки потенциальных месторождений

К числу важнейших поисковых признаков месторождений полезных ископаемых относятся: широкие первичные и остаточные ореолы или узколокальные ареалы элементов-индикаторов оруденения, шлиховые потоки минералов-индикаторов и их ассоциаций, ореолы повышенных концентраций элементов-индикаторов в подземных водах, локальные, газовые и биохимические ареалы и группы аномальных геофизических зон. Среди косвенных поисковых признаков месторождений полезных ископаемых главное значение имеют

локальные ареалы метасоматически измененных пород.

Важнейшими поисковыми признаками месторождений, представленных рудными минералами, устойчивыми в зоне окисления, являются шлиховые потоки минералов-индикаторов в аллювиальных отложениях. К типичным I минералам шлихов относятся (в порядке убывания их плотностей): платина (21,5), самородное золото (15,6-18,3), киноварь I (8), танталит (7,3-7,9), вольфрамит (7,1-7,5), касситерит (6,75-7,1), шеелит (6,1), колумбит (7,2-6), ильменит (5-6), монацит (4,9-5,5), магнетит (4,8-5,3), хромит (4,2-5,1), циркон (4-5,1), пиролюзит (4,7-5,0), барит (4,5), рутил (4,3), гранат (пироп 3,5-3,75), сфен (3,3-3,6), алмаз (3,52), топаз ; (3,49-3,57), апатит (3,1-3,2), турмалин (3,0-3,25).

Вероятность выявления месторождений по шлиховым потокам рассеяния заметно повышается при использовании не одного минерала-индикатора, а парагенной минеральной ассоциации. Например, до недавнего времени поиски алмазоносных кимберлитовых трубок проводились шлиховым методом по постоянному спутнику алмаза - пиропу. В настоящее время наряду с пиропом в качестве индикатора алмазоносности используется ассоциация пироба с пикроильменитом, хромдиопсидом, хромшпинелидами и цирконом. Кроме того, учитывается наличие в шлихах минералов легкой фракции - флогопита, серпентина и обломков кимберлита

При поисках редкометальных пегматитов ассоциация минералов-индикаторов оруденения включает колумбит-танталит, касситерит (пегматитового облика), оранжевый спессартин, цветные турмалины, синий или темно-зеленый манганопатит и сподумен.

Ореолы повышенных концентраций элементов-индикаторов в подземных водах формируются вокруг месторождений таких полезных ископаемых, которые легко разрушаются под действием вод и образуют легкорастворимые соединения. К ним относятся многие месторождения сульфидных руд, урановые, соляные, серные, борные, нефтяные и иодо-бромные месторождения.

Ореолы представляют собой области распространения подземных вод с отчетливо повышенными содержаниями элементов-индикаторов,

рассматриваемым в большинстве случаев как микрокомпоненты.

Условия накопления элементов-индикаторов в водах, их концентрации и размеры ореолов определяются сочетаниями многих природных факторов, среди которых доминирующее значение имеют:

- геохимические свойства элементов, формы их нахождения в рудах, вмещающих породах и в природных водах;

- химический состав, окислительно-восстановительная обстановка, термический и газовый режимы подземных вод, определяющие интенсивность водной миграции элементов;

- состав и строение вмещающих пород, гидродинамические, современные и палеоландшафтные условия оцениваемого района.

Локальные газовые ареалы в подпочвенном воздухе (или растворенные в водах) образуются над нефтяными, газовыми, угольными, серными и многими рудными месторождениями в результате миграции:

- первичных газов за контуры нефтяных, газовых, угольных, серных и ртутных месторождений;

- газов, образовавшихся в результате химических реакций, протекающих в зонах окисления сульфидных месторождений;

- эманаций, возникающих в результате распада радиоактивных элементов на месторождениях урановых, ториевых и некоторых редкометальных руд.

Ртуть в газовых ареалах может оцениваться как прямой поисковый признак ртутных месторождений (пары ртути выделяются непосредственно из киноварных руд или из самородной ртути) или как косвенный признак многих рудных месторождений, в которых киноварь встречается в составе литохимических ореолов (многие медноколчеданные и полиметаллические месторождения) .

Над зонами выветривания сульфидных месторождений в результате реакций окисления подпочвенный воздух обедняется кислородом, обогащаясь при этом углекислым газом и сероводородом.

При распаде радиоактивных элементов, содержащихся в урановых, ториевых и редкоземельных рудах, возникают газообразные эманации: радон, торон, актинон

и гелий, из которых наибольшее поисковое значение имеют радон и торон.

4.6 Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых

Основные технические средства разведки

Современные технические средства разведки служат для проникновения на большие или меньшие глубины от дневной поверхности с целью получения данных о размерах геологических тел и качестве полезного ископаемого в недрах. Такие проникновения осуществляются тремя способами: путем проходки горных разведочных выработок, при помощи бурения разведочных скважин, посредством геофизических измерений.

Соответственно этим трем способам технические средства разведки подразделяются на горнотехнические, буровые и геофизические.

Наиболее надежные разведочные данные получают из горных выработок, где непосредственно можно выполнять любые наблюдения и исследования. Менее достоверные результаты дают наблюдения и исследования в буровых скважинах. И, наконец, весьма приблизительные представления о телах полезных ископаемых складываются в результате геофизических измерений. В то же время горные выработки являются трудоемкими и дорогостоящими способами разведки. Бурение обычно дешевле и быстрее дает результаты. Самыми дешевыми и скорыми в исполнении являются геофизические методы, используемые в процессе разведки. В практике эти способы разведочных работ чаще всего комбинируются, взаимно дополняя и корректируя друг друга.

Разведочное пересечение, разрез и система

Прослеживание природных скоплений полезных ископаемых в недрах производится с помощью разведочных выработок, в качестве которых могут использоваться поверхностные или подземные горные выработки и разведочные скважины. Любая разведочная выработка, пересекающая скопления полезного ископаемого в недрах, представляет собой искусственное обнажение и может

рассматриваться как *разведочное пересечение*.

Совокупность разведочных пересечений, расположенных в одной плоскости образует *разведочный разрез*, а совокупность разведочных разрезов образует в пространстве *разведочную систему*.

Разведочное пересечение должно располагаться в направлении, по возможности близком к максимальной изменчивости важнейших свойств полезных ископаемых в недрах и вскрывать залежи полезных ископаемых на полную мощность, захватывая прилегающих к ним участки вмещающих пород. Обычно это направление совпадает с направлением истинных мощностей природных минеральных тел.

Разведочное пересечение может быть создано с применением различных технических средств. Чем сложнее строение полезного ископаемого и труднее расшифровываются геологические закономерности локализации полезной минерализации, тем больше должны быть размеры обнаженных поверхностей и детальней комплекс непосредственных визуальных наблюдений.

Разведочные разрезы могут быть поперечными, продольными или косыми по отношению к зонам или телам полезных ископаемых. Особую группу образуют разведочные разрезы, ориентированные в продольных плоскостях маломощных тел полезных ископаемых, когда их мощности вписываются в поперечные сечения разведочных горных выработок.

Разведочные пересечения могут располагаться в пределах разведочного разреза параллельно под различными углами или пересекая друг друга, образуя прерывистые или непрерывные разведочные разрезы.

Достоверные данные о строении и свойствах полезных ископаемых и вмещающих пород в плоскости разведочного разреза обеспечиваются только по линии разведочных пересечений. Представления о свойствах полезных ископаемых в промежутках между разведочными пересечениями могут быть получены лишь путем интерпретации фактических наблюдений.

Системы разведочных работ, комплексирование видов систем

Под системой разведочных работ понимается такое пространственное размещение разведочных средств, которое дает возможность построить намеченные разрезы и провести необходимое опробование для подсчета промышленных типов полезного ископаемого. Существуют три группы разведочных систем.

Группа буровых систем в свою очередь подразделяется еще на 3 мелкие системы:

1. Системы мелких вертикальных скважин (10-3- м) для разведки неглубоко залегающих пологих и горизонтальных плоских тел полезного ископаемого обычно малой изменчивостью качества: месторождений озерно-болотных руд, глин, песков, месторождений коры выветривания, россыпей и т.п.

2. Системы глубоких (от 70 до 1000 м) вертикальных скважин для разведки глубоководных, в общем пологих плоских тел полезного ископаемого и месторождений изометрической формы типа крупных штокверков: платформенные месторождения углей, залежи бокситов, крупные погребенные россыпи, пластообразные тела медистых песчаников, пласты многих нерудных ископаемых, штокверки медно-порфировых руд типа джезказганских.

3. Системы наклонных скважин (глубиной 50-1200 м) для разведки крутопадающих и наклонных плоских тел полезного ископаемого - пластовых, жилообразных, линзообразных.

Группа горных систем включает в себя 3 крупные системы:

1. Системы разведочных шурфов - для разведки пологих близповерхностных тел полезных ископаемых. Использование шурфов вместо скважин целесообразно в тех случаях, когда тела полезного ископаемого обладают сильной изменчивостью качества и сложным внутренним строением.

2. Системы разведочных штолен - для разведки самых разнообразных по формам и условиям залегания тел полезного ископаемого на местности с расчлененным рельефом.

3. Системы разведочных шахт глубиной 150-200 м применяются в тех случаях, когда более дешевым путем разведать месторождение невозможно. Сама шахта не является разведочной выработкой, она предназначается для вскрытия месторождения, а основное разведочное назначение выполняют выработки, задаваемые из шахты.

Группа комбинированных горно-буровых систем:

1. Системы мелких вертикальных скважин с контрольными шурфами - в тех же условиях, что и системы мелких скважин или системы шурфов. Количество шурфов обычно составляет 5-10% от количества буровых скважин. Шурфы служат для подтверждения данных бурения.

2. Системы разведочных штолен и буровых скважин - на месторождениях, погружающихся на большую глубину, когда верхняя часть месторождения разведывается штольнями, а нижняя скважинами.

3. Системы разведочных шахт и буровых скважин для разведки крутопадающих и уходящих на большие глубины продуктивных зон и отдельных тел полезного ископаемого.

На выбор технических средств и системы разведочных работ оказывают влияние геологические, горно-технологические и географо-экономические факторы. Их совокупным влиянием определяется пространственная ориентировка разведочных разрезов, расположение разведочных пересечений и техника проходки выработок.

Месторождения, в которых ***залежи полезных ископаемых располагаются согласно с элементами слоистости вмещающих пород***, разведываются преимущественно буровыми скважинами, так как устойчивость геологических разрезов рудовмещающих пород обеспечивает уверенное прослеживание залежей и взаимную увязку смежных разведочных пересечений. Разведка стратиформных залежей также возможна с помощью буровых скважин. Подземные горные выработки применяются в ограниченных объемах - для уточнения сведений о

морфологии и строении залежей.

Залежи в контактовых зонах магматических пород, обладающие устойчивой формой и простым внутренним строением, разведуются буровыми скважинами. Для разведки плащеподобных залежей, в которых верхняя граница определяется подошвой дальнепринесенных рыхлых отложений, а нижняя — контактом коры выветривания с невыветрелой материнской породой, применяются шурфы или короткие буровые скважины. Аналогично разведуются и россыпные месторождения, для которых верхние границы определяются подошвами торфов, а нижние — поверхностями плотиков. При разведке крупных скарновых месторождений в сочетании с буровыми скважинами широко используются поверхностные и подземные горные выработки. Необходимость их применения связана со сложностью и внутреннего строения скарновых залежей.

Разведка залежей, несогласных с напластованием вмещающих пород, но контролируемых выдержанными, легкокартируемыми структурами, осуществляется буровыми скважинами и горными выработками. Применению буровых скважин способствуют выдержанность основных рудоконтролирующих структур. Сложные по строению зональные пегматиты и рудные жилы разведуются с преобладанием горных работ над буровыми. В этих случаях буровая разведка применяется только для прослеживания рудовмещающих структур и подтверждении промышленной минерализации на флангах и на глубоких горизонтах, а оценка подсчетных параметров и выявление локальных рудовмещающих структур основываются на данных горных работ.

Разведка мелких скоплений полезных ископаемых секущих слоистость вмещающих пород и контролируемых сложными, труднокартируемыми элементами геологического строения, осуществляется преимущественно горными выработками, так как вследствие малых размеров рудных скоплений и неустойчивости разрезов рудовмещающих пород наблюдений по разведочным скважинам недостаточно для выявления и оконтуривания рудоносных структур. Разведочное бурение используется, только для поисков новых минерализованных участков и для подтверждения промышленной минерализации на флангах и на

глубоких горизонтах месторождений.

Условиями залегания полезных ископаемых выделяются системы разведки, а в сочетании с рельефом поверхности - технические средства разведочных работ. Горизонтальные, пологопадающие и наклонные залежи разведуются системами вертикальных, параллельных разрезов; реже применяются непараллельные или радиальные вертикальные разрезы. При разведке крутопадающих тел с помощью горных выработок обычно создаются горизонтальные разрезы, а с помощью скважин - вертикальные. Для крутопадающих и вертикально ориентированных тел исключается возможность применения ударноканатных скважин и ухудшаются условия использования колонковых скважин. Мощные пологопадающие и горизонтально залегающие тела легче разведывать буровыми скважинами, чем горными выработками. При их горной разведке приходится создавать сложную систему штреков, квершлагов и гезенков (или вертикальных скважин), в то время как мощные крутопадающие тела разведуются системами ортов и штреков (или горизонтальных скважин).

Элементы залегания тел полезных ископаемых в сочетании с рельефом поверхности определяют тип вскрывающих разведочных горных выработок. Расчлененность рельефа способствует применению разведочных штолен, которые всегда предпочтительнее разведочных стволов шахт. Полезные ископаемые, залегающие, согласно поверхностям склонов горного рельефа, легко вскрываются штольневными выработками. При падениях залежей в обратную сторону от склона, создаются неблагоприятные условия для их разведки буровыми скважинами.

Морфология природных скоплений полезных ископаемых существенно влияет на расположение разведочных пересечений на ориентировку разрезов и на выбор технических средств разведки. Крупные и очень крупные скопления (площадью несколько квадратных километров и более) разведуются буровыми скважинами. Средние по размерам скопления (площадью с десятки гектаров) разведуются буровыми скважинами в сочетании с горными выработками, а при разведке мелких и очень мелких скоплений (площадью в тысячи и менее квадратных метров) горные выработки резко преобладают над разведочными

скважинами.

Форма скоплений полезных ископаемых оказывает влияние на расположение разведочных пересечений в плоскостях разведочных разрезов. Простые и выдержанные по форме пластовые, пластообразные, штокообразные и изометрические тела разведуются системами параллельных вертикальных или горизонтальных пересечений, более сложные ветвящиеся столбообразные и жилородные тела - системами радиальных пересечений. Устойчивость форм скоплений полезных ископаемых оказывает влияние и на выбор технических средств разведочных работ. Залежи, устойчивые и простые по форме, успешно разведуются буровыми скважинами. Усложнение и невыдержанность форм требуют применения более густой сети наблюдений, что часто оказывается экономически эффективным только с использованием горных выработок. Иногда форма залежей полезных ископаемых предопределяет и ориентировку самих разведочных разрезов: маломощные жилы разведуются продольными разведочными разрезами, а лентоподобные залежи - системами непараллельных разрезов. Влияние форм скоплений полезных ископаемых на выбор системы разведочных работ заметно ослабевает: с увеличением их размеров и практически не ощущается при разведке крупных и очень крупных залежей полезных ископаемых.

Строение и состав полезных ископаемых определяют ориентировку разведочных пересечений и выбор технических средств разведочных работ. Практически сплошное строение полезных ископаемых благоприятствует применению скважин разведочного бурения и параллельной ориентировке разведочных пересечений в плоскостях разрезов. Прерывистое строение заставляет ориентировать разведочные пересечения под различными углами друг к другу, сочетая разведочные скважины с горными выработками. При очень сложном, сильно прерывистом строении используются горные выработки, которые в сочетании с короткометражными скважинами образуют в плоскости разреза сеть перекрестных разведочных пересечений.

Влияние состава и физических свойств полезных ископаемых проявляется особенно резко при выборе геофизических средств разведочных работ. Резкие,

различия физикомеханических свойств полезных минералов и вмещающих пород иногда могут способствовать преимущественному использованию горных выработок по сравнению с разведочными скважинами, например, для предупреждения систематических погрешностей при опробовании скважин вследствие избирательного истирания керна.

Из горно-технологических факторов наиболее существенное влияние на выбор технических средств и методов разведочных работ оказывают:

- предполагаемые способы вскрытия и разработки месторождения;
- гидрогеологические условия, горно-технические свойства полезного ископаемого и вмещающих пород.

При открытых системах разработки снижаются требования к кондиционным показателям для оконтуривания. Это приводит к расширению контуров продуктивных залежей, упрощению их форм и строения. Разведка таких месторождений производится преимущественно буровыми скважинами, тем более что использование горных выработок при последующей карьерной разработке невозможно. Сходные условия возникают и при разведках месторождений, намечаемых к разработке высокопроизводительными подземными системами или способами подземного выщелачивания.

При повышенной водоносности месторождении разведочные горные выработки по возможности заменяются буровыми скважинами, а при горном варианте разведки вскрывающие шахты заменяются дренажными штольнями. Иногда при слабой устойчивости минерализованных пород проводятся полевые штреки вместо рудных, а продуктивные залежи вскрываются системами ортов, гезенков или короткометражных скважин. Большие мощности рыхлых отложений способствуют замене горных выработок буровыми скважинами (особенно в случаях повышенной водоносности наносов). Сильная трещиноватость или сыпучесть минерализованных пород приводит иногда к отказу от колонкового бурения из-за невозможности обеспечить удовлетворительный выход керна.

4.7 Основные способы подсчета запасов полезных ископаемых

Выбор способа подсчета запасов определяется геологическими особенностями месторождения и применяемыми системами разведки. Однако не следует преувеличивать роль способа подсчета запасов полезного ископаемого в достижении наибольшей надежности результатов. Опыт показывает, что главными причинами ошибок при подсчетах запасов являются дефекты документации и неправильные геологические представления при интерполяции и экстраполяции данных разведки.

При достаточном количестве доброкачественного фактического материала и при правильном понимании геологической обстановки подсчеты, выполняемые двумя или тремя разными способами на одном и том же исходном материале, дают близкие цифры запасов.

Накопленный опыт показал, что целесообразно применять только те способы подсчета запасов, которые, являясь простыми в исполнении, в то же время позволяют отражать геологические особенности месторождений.

В последние годы в практике разведок месторождений полезных ископаемых преобладают подсчеты запасов среднего арифметического, способом блоков и способом разрезов.

Способ среднего арифметического

Этот способ представлен простейшим подсчетом запасов и охватывает весь объект разведки. Все разведочные пересечения, заключенные внутри общего контура объекта, служат исходными данными для вычисления средних значений подсчетных параметров. Оконтуривание подсчетной площади может быть произведено любым из известных способов. Таким образом, при подсчете запасов полезного ископаемого способом среднего арифметического сложные очертания тела сглаживаются путем превращения этого тела неправильной формы в равновеликую по объему плиту (рисунок 2).

При этом способе средние значения подсчетных параметров вычисляются как

средние арифметические величины. Подсчитывая площадь принимается равной площади тела полезного ископаемого, обычно в плане или в проекции на горизонтальную плоскость. Средняя мощность тела, выраженная толщиной подсчетной плиты, вычисляется как средняя величина из всех рудных разведочных пересечений. Среднее содержание полезных компонентов также вычисляется среднеарифметическим способом, без «взвешивания» на различные мощности, установленные в разведочных пересечениях. Средняя объемная масса определяется по ограниченному числу проб (20 — 30) как средняя арифметическая величина. И только вычисление среднего содержания по разведочному пересечению выполняется способом среднего взвешенного — содержания в секционных пробах по разведочному пересечению «взвешиваются» на длины проб.

Основным преимуществом способа среднего арифметического является простота подсчетов. Этот способ дает возможность быстро определить величину запасов для ориентировочного представления о промышленной ценности месторождения. Он является единственно рациональным способом подсчета запасов при немногочисленных разведочных данных. Поэтому способ среднего арифметического типичен для подсчетов запасов по результатам поисково-оценочных работ и предварительной разведки.

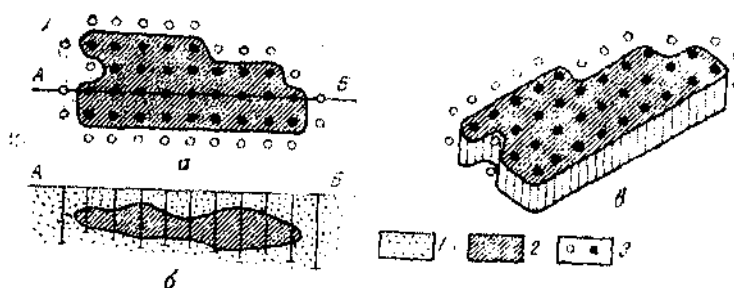


Рисунок 2 - Схема преобразования формы рудного тела при подсчете запасов способом среднего арифметического: а – план рудного тела; б – разрез по линии АБ; в - аксонометрическая проекция преобразованного тела; 1 – вмещающие горные породы; 2 – рудное тело; 3 – разведочные выработки: черные – пересекшие рудное тело; светлые – законтурные.

Расчетные формулы имеют простейший вид

$$m_{cp} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{n}; \quad (1)$$

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}; \quad (2)$$

$$c_{cp} = \frac{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + \dots + c_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}; \quad (3)$$

$$V = S \cdot m_{cp}; \quad (4)$$

$$Q = V \cdot d_{cp}; \quad (5)$$

$$Z = Q \cdot c_{cp}; \quad (6)$$

где S – площадь тела; n – число измерений.

Пример подсчета запасов методом среднего арифметического

Проиллюстрируем на опыте разведки ныне уже отработанного месторождения силикатно-никелевых руд — Промежуточного.

Месторождение залегает вблизи поверхности, в коре выветривания массива ультраосновных изверженных пород. Разрез коры выветривания сверху вниз представлен оранжево-красными безрудными охрами, зеленоватыми нонтронитами, выщелоченными серпентинитами и габбро- амфиболитами. Рудная зона нонтронитов и частично никеленосных серпентинитов имеет форму пластообразной залежи с извилистыми нечеткими контактами, которые устанавливаются только по данным опробования.

Промышленная залежь длиной 1400 м при ширине от 500 до 1000 м отличается неравномерной мощностью, колеблющейся от 1 до 35 м. Она находится

на глубинах от 0,2 до 42 м. Руда бедная, содержит немногим более 1 % никеля; среднее содержание кобальта 0,05%. Вся она относится к одному сорту, используемому прямо для выплавки никеля без предварительной обработки.

Месторождение после его обнаружения единичными поисковыми скважинами разведывалось предварительно при помощи скважин медленного ударно-вращательного бурения, расположенных по квадратной сети 200x200 м и на отдельных участках 100x100 м; всего пробурено 2250 м. Детальная разведка, длившаяся 2 года, велась уже колонковым бурением с применением контрольных шурфов и дудок. Большая часть месторождения разведана по сети 25x25 м, остальная — по сети 50x50 м (рисунок 3). Для контроля определения качества руды сравнивались данные по шурфам и скважинам, что выявило незначительные расхождения — в среднем менее 1 %; контроль химических анализов проб как внешний, так и внутренний показал допустимые погрешности анализов. Возможность использования руды проверялась прямо на действующем заводе.

Для подсчета запасов были установлены кондиции: бортовое содержание никеля 0,70%, минимальное среднее содержание никеля 1,3%, минимальная мощность рудного тела 1 м. Подсчеты выполнялись следующим образом:

а) по каждой разведочной выработке вычислялось среднее содержание никеля и кобальта как средневзвешенная величина на интервалы опробования;

б) данные о содержании и рудной мощности по каждой разведочной выработке выносились на подсчетный план и служили исходными для вычисления средних арифметических значений мощности залежи и содержаний полезных компонентов— никеля и кобальта;

в) отдельно для центральной части, где находятся запасы категории В, а для остальной — по категории С.



Рисунок 3 – План силикатно-никелевого месторождения Промежуточное к подсчету запасов руд. 1 – запасы, учтенные по категории В; 2 – запасы, учтенные по категории С₁; 3 – устья скважин.

Способ геологических блоков

При наличии разнородных частей месторождения в его пределах выделяются участки, которые представляют собой отдельные подсчетные блоки. Выделение блоков производится по разным типам полезного ископаемого, выявляемым в процессе разведки; по морфологическим особенностям разных частей месторождения; по различиям в условиях залегания, т. е. по различным геологическим признакам. Отсюда и название выделяемых блоков: «геологические блоки». При выделении блоков по геологическим признакам приходится также учитывать степень разведанности различных их частей и тогда в пределах

некоторых геологических блоков целесообразно выделять самостоятельные подсчетные блоки с целью дифференцированного учета запасов полезного ископаемого разных категорий (А, В, С, С₂).

Сущность преобразования форм для подсчета запасов способом геологических блоков состоит в том, что отдельные части объекта разведки превращаются в пластины разной толщины и все тело полезного ископаемого представляет собой ряд сомкнутых такого рода пластин (рисунок 4).

Подсчеты запасов и их параметров в пределах каждого блока ведутся или способом среднего арифметического, или способом среднего взвешенного, если исходные данные по разным разведочным пересечениям существенно различны. Общие запасы полезного ископаемого подсчитываются суммированием запасов по всем блокам.

Способ геологических блоков можно применять, когда имеются уже многочисленные данные по объекту разведки, значительно большее число разведочных пересечений, чем это бывает при подсчете запасов в целом по объекту способом среднего арифметического.

Однако в пределах каждого подсчетного блока разведочных наблюдений может быть и немного. Следует при этом помнить, что, чем больше при каждом подсчетном блоке полезного компонента, тем точнее будут определены запасы каждого блока и месторождения в целом.

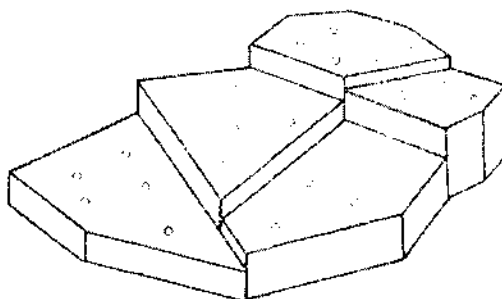


Рисунок 4 – Схема преобразования природной формы неоднородного тела в каждом подсчетном блоке полезного ископаемого при подсчете запасов способом геологических блоков

Следовательно, кроме геологических соображений при выделении подсчетных блоков следует учитывать и расположение разведочных пересечений, а очерчивать подсчетные геологические блоки целесообразно с таким расчетом, чтобы каждый из них опирался на возможно большее число разведочных пересечений.

В зависимости от числа разведочных пересечений в каждом блоке и от густоты разведочной сети запасы полезного ископаемого могут быть квалифицированы по разным категориям (А, В, С₁ С₂).

Способ геологических блоков обладает теми же преимуществами, что и способ среднего арифметического — простотой построений и расчетов. Кроме того, он совершеннее последнего тем, что дает возможность выделять пространственно и подсчитывать отдельно различные типы и сорта полезного ископаемого, заключенные в разведанном объекте. Поэтому способ геологических блоков эффективно может применяться по результатам как предварительной разведки, так и детальных разведок месторождений полезных ископаемых.

Одним из существенных недостатков данного способа является то, что его подсчетные единицы (блоки) обычно не соответствуют эксплуатационным участкам и эксплуатационным блокам. Поэтому при проектировании разработки месторождения приходится перестраивать все подсчетные блоки применительно к принятой системе его разработки и производить полный пересчет запасов.

Пример подсчета запасов способом геологических блоков (по В. И. Смирнову). На одном из участков Челябинского бурогоугольного бассейна на Урале угленосная свита характеризуется весьма сложным геологическим строением. Она находится в пределах верхнетриасовых отложений, перекрытых кайнозойскими рыхлыми породами мощностью до 35 м. В свите выделяются восемь более или менее обособленных пачек, называемых пластами, в которых перемежаются слои угля с прослойками пустых пород. Участок занимает восточное крыло синклинали расчлененной дизъюнктивными нарушениями на несколько тектонических блоков, в пределах которых пласты угля падают под углом от 40 до 70°.

Восточно-Батурицкий пласт, наиболее мощный в угленосной свите, явился

объектом подсчета запасов угля, заключенного в нем. Этот пласт состоит из серии угольных слоев, суммарная мощность которых достигает 20 м в центральной части участка и уменьшается на флангах и с глубиной. Тектоническими нарушениями пласт разделен на части, смещенные одна относительно другой.

Разведка месторождения на этом участке проведена скважинами колонкового бурения по линиям, ориентированным вкрест простирания угленосной свиты. Расстояния между разведочными линиями 80—100 м, а между скважинами по линиям— от 20 до 60 м. Скважины бурились вертикально и с небольшим наклоном, подсекая сложнорасчлененный пласт на различных расстояниях друг от друга.

В соответствии со структурой пласта подсчет запасов угля произведен способом геологических блоков. Последние ограничивались в направлении падения с одной стороны линией выходов, а с другой — линией экстраполяции, проведенной под последними разведочными пересечениями на глубине; по простиранию границами блоков явились разделяющие их сбросы (рисунок 5).

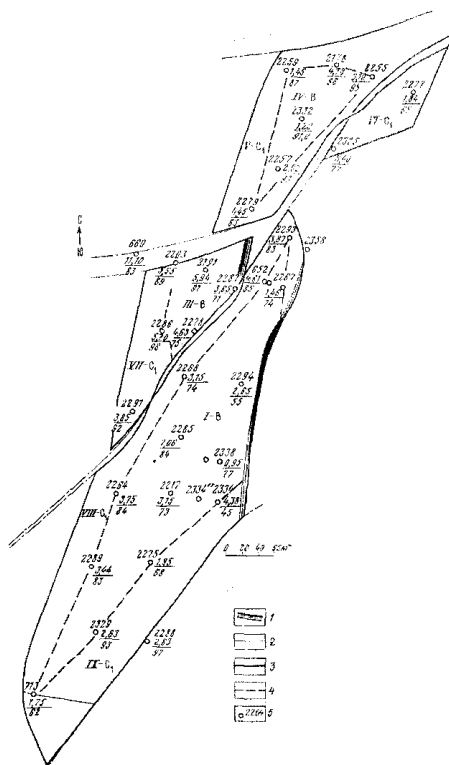


Рисунок 5 – Схема блокировки запасов угля пласта Восточно-Батуринский 1 Челябинского угольного бассейна. 1 – выход угольного пласта на поверхность; 2 – тектонические разрушения; 3 – границы запасов категорий В+С; 4 – границы запасов категорий В; 5 – скважина и ее номер. Дробь у скважины: числитель –

мощность пласта, м; знаменатель – выход керна, %;

Ввиду сложного геологического строения угольного пласта запасы углей, подсчитанные по каждому блоку в отдельности, отнесены в центральных частях блоков (по внутреннему контуру) к категории В, а на их окраинах (по внешнему контуру) — к категории С₁ (рисунок 6)

Номер блока	Номер буровой скважины	Мощность пласта, м	Объемный выход, %	Площадь блока, тыс. м ²	Объем блока, тыс. м ³	Выход уг. керна, %	Номер блока	Номер буровой скважины	Мощность пласта, м	Объемный выход, %	Площадь блока, тыс. м ²	Объем блока, тыс. м ³	Выход уг. керна, %	
I-B	713	1,75					V-C ₁	2178	4,70					
	4217	3,15						2255	3,10					
	2264	3,75						2259	1,45					
		2267	1,46					2273	4,45					
		2268	3,15				По блоку		3,48	2,0	14,5	50,5	101,0	
		2275	1,95				VI-C ₁	2277	1,84					
		2285	7,06					2325	3,40					
		2289	3,44					По блоку		2,62	2,0	7,7	20,2	40,4
		2293	3,87				VII-C ₁	2203	5,55					
		2294	2,85					2286	5,70					
		2329	2,83					2291	3,85					
По блоку		3,27	2,0	40,0	130,8	261,5	По блоку		6,03	2,0	7,7	38,7	77,4	
III-B	2191	5,94					VIII-C ₁	652	4,81					
	2203	5,55						713	1,75					
	2278	4,53						2264	3,75					
	2285	5,79						2267	1,46					
	2287	3,65						2268	3,15					
По блоку		5,06		7,6	38,7	77,4	По блоку		3,03	2,0	21,9	63,6	127,2	
IV-B	2178	4,70					IX-C ₂	2275	1,95					
	2255	3,10						2329	2,63					
	2267	2,02						2334	4,38					
	2259	1,45						По блоку		2,99	2,0	20,0	69,8	119,5
	2279	4,45						По блоку		2,99	2,0	20,0	69,8	119,5
По блоку		2,82	2,0	9,5	26,8	53,6	По блоку		2,99	2,0	20,0	69,8	119,5	
Итого по категории В						392,6	Итого по категории С ₁						465,8	

Рисунок 6 – Формуляр подсчета угля (пласт Восточно-Батуринский 1)

Способ эксплуатационных блоков

В основу этого способа подсчета запасов положены требования подготовки месторождения к его отработке. Суть способа заключается в разбивке тела полезного ископаемого или его части на серии блоков согласно принятой системе отработки. Такого рода блоки уже очерчиваются горноподготовительными выработками с трех или четырех сторон. Следовательно, способ эксплуатационных блоков применим в конечный период разведки месторождения — частично при его детальной разведке, но главным образом в процессе отработки месторождения для подсчета запасов по данным эксплуатационной разведки.

Объем тела в блоке, оконтуренном с четырех сторон, вычисляется по формуле

$$V = S \frac{m_1 \cdot L_1 + m_2 \cdot L_2 + m_3 \cdot L_3 + m_4 \cdot L_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}; \quad (7)$$

где S – площадь блока; m_i – средняя мощность тела по горной выработке; L_i – длины выработок.

При значительных колебаниях объемной массы запасы руды в блоке вычисляются по формуле:

$$Q = V \frac{d_1 \cdot m_1 \cdot L_1 + d_2 \cdot m_2 \cdot L_2 + d_3 \cdot m_3 \cdot L_3 + d_4 \cdot m_4 \cdot L_4}{m_1 \cdot L_1 + m_2 \cdot L_2 + m_3 \cdot L_3 + m_4 \cdot L_4}; \quad (8)$$

где d_i – средняя объемная масса полезного ископаемого по горной выработке.

Вычисление запасов полезного компонента в общем случае также проводится со взвешиванием содержания полезного компонента на подсчетные параметры по каждой выработке, оконтуривающей блок.

$$Z = Q \frac{c_1 \cdot d_1 \cdot m_1 \cdot L_1 + c_2 \cdot d_2 \cdot m_2 \cdot L_2 + c_3 \cdot d_3 \cdot m_3 \cdot L_3 + c_4 \cdot d_4 \cdot m_4 \cdot L_4}{d_1 \cdot m_1 \cdot L_1 + d_2 \cdot m_2 \cdot L_2 + d_3 \cdot m_3 \cdot L_3 + d_4 \cdot m_4 \cdot L_4}; \quad (9)$$

где c_i – среднее содержание полезного компонента по горной выработке.

Если блок оконтурен с трех сторон, то расчеты по приведенным формулам производятся только по трем выработкам. Но при подготовке крупных массивов к отработке эксплуатационные блоки иногда имеют не плоские формы, а приближающиеся к кубам или призмам больших размеров. В таких случаях горно-подготовительных выработок, обрисовывающих блок в разных направлениях, бывает больше четырех и все они должны участвовать в подсчете запасов полезного ископаемого. В каждом конкретном случае в зависимости от соотношений различных горных выработок и буровых скважин методика подсчета запасов

полезного ископаемого будет иметь свои особенности.

Подсчеты запасов способом эксплуатационных блоков дают наиболее точные и достоверные результаты определения запасов полезного ископаемого, поскольку они базируются на самых детальнейших разведочных данных, на множестве разведочных пересечений и проб.

Пример подсчета запасов способом эксплуатационных блоков на одном из участков упомянутого выше Холтосонского вольфраморудного месторождения, представленного жилеобразными кварцево-вольфрамитовыми телами небольшой мощности. Эти рудные жилы прослежены полностью штреками по простиранию и нарезаны на блоки восстающими (рисунок 7).

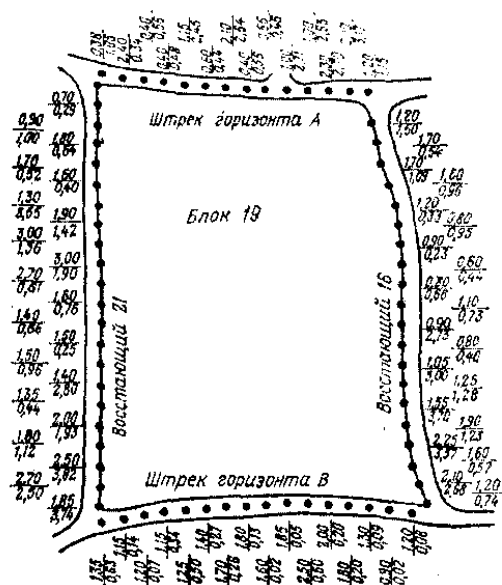


Рисунок 7 – Подсчетный эксплуатационный блок рудной жилы 47. Дроби на рисунке в числителе - мощность жилы, м; в знаменателе – среднее содержание.

Наиболее трудоемкой операцией является в этом случае вычисление средних значений мощности и содержания трехоксида вольфрама. Однако и эти вычисления здесь наиболее просты, поскольку расстояния между пробами практически одинаковы. Такое равномерное расположение проб по выработкам упрощает и дальнейшие расчеты, так как при вычислении объема тела в пределах блока нет необходимости взвешивать значения мощности на длину выработок, ограничивающих блок. Расчеты мощности, выполненные способом среднего арифметического приведены на рисунке 8.

Номер пробы	Содержание c_i , %	Мощность m_i , м	Произведение $c_i m_i$	Номер пробы	Содержание c_i , %	Мощность m_i , м	Произведение $c_i m_i$
<i>Штрек горизонта А</i>				<i>Восстающий 21</i>			
1	1,05	0,38	0,399	1	0,80	0,55	0,440
2	0,34	0,40	0,136	2	0,29	0,70	0,203
...
14	1,15	1,20	1,380	22	0,74	1,85	1,369
Сумма	—	13,08	26,947	Сумма	—	38,76	54,999
Среднее	2,06	0,93	—	Среднее	1,42	1,76	—
<i>Штрек горизонта Б</i>				<i>Восстающий 16</i>			
1	0,63	1,35	0,850	1	0,74	1,20	0,888
2	0,14	1,15	0,161	2	1,56	1,20	1,872
...
16	0,08	0,90	0,072	20	2,68	2,10	5,628
Сумма	—	24,15	5,834	Сумма	—	26,20	39,746
Среднее	0,24	1,51	—	Среднее	1,52	1,31	—
				<i>По блоку</i>			
				Сумма	—	10 219	127,526
				Среднее	1,25	1,42	—

Рисунок 8 – Формуляр расчета средних значений мощности и содержания триоксида вольфрама по выработкам и по блоку в целом

Определения остальных подсчетных параметров, необходимых для вычисления запаса руды и триоксида вольфрама в данном блоке, тоже относительно просты. Площадь блока S_i определена планиметром в проекции блока на вертикальную плоскость. Объемная масса d_i принята единой для каждой выработки, так как руда в блоке однообразна по составу. В этой связи заключительные вычислительные операции проведены по простейшим формулам:

$$V = S \cdot m_{cp} = 1260 \cdot 1,42 = 1789 \text{ м}^3; \quad (10)$$

$$Q = V \cdot d_{cp} = 1789 \cdot 2,6 = 4652 \text{ т руды}; \quad (11)$$

$$Z = Q \cdot c_{cp} = \frac{4652 \cdot 1,25}{100} = 58,15 \text{ т } WO_3; \quad (12)$$

Способ разрезов

Подсчет запасов с изображением подсчетных площадей в разрезах является способом, наиболее полно учитывающим геологические особенности тел полезных ископаемых. Это обстоятельство особенно важно при подсчетах запасов полезных ископаемых тех месторождений, которые обладают изменчивыми и сложными формами. Поэтому способ разрезов распространен в практике подсчетов запасов руд многих металлических и неметаллических полезных ископаемых; в меньшей степени он применяется для подсчета запасов горючих сланцев, углей и других полезных ископаемых, представленных месторождениями простых пластовых форм.

Сущность способа состоит в том, что тело полезного ископаемого разбивается на блоки, ограниченные геологическими разрезами, построенными по соответствующим разведочным пересечениям. В зависимости от ориентировки разведочных пересечений, образующих разрезы первого порядка, различаются две разновидности способа подсчета: 1) способ вертикальных разрезов; 2) способ горизонтальных разрезов. Первый типичен для мощных залежей вытянутых или изометричных форм, разведанных вертикальными или наклонными буровыми скважинами при небольшом участии горных разведочных выработок — шурфов, дудок и т. п. Второй способ обычно применяется при разведке месторождения горными и горнобуровыми системами с преобладающими горизонтальными разведочными пересечениями из подземных горных выработок; он характерен для крутопадающих более или менее мощных тел полезных ископаемых, а также для штокообразных месторождений. В связи с тем, что месторождения отрабатываются горизонт за горизонтом по определенным этажам или уступам, способ подсчета запасов горизонтальными разрезами наиболее удобен для проектирования рудников.

При расчленении тела подсчетными разрезами на блоки каждый из них ограничивается двумя практически параллельными разрезами, за исключением двух крайних блоков — правого и левого при вертикальных разрезах или верхнего и нижнего при горизонтальных разрезах. Эти последние блоки опираются лишь одной стороной на разведочный разрез, с остальных сторон ограничиваются

экстраполяционными поверхностями по геологическим или иным соображениям (рисунок 9).

При разведке россыпных месторождений ввиду неравномерности распределения полезных компонентов по простиранию россыпи применяется способ подсчета запасов по блокам, опирающимся на один разрез, с экстраполяцией его данных в обе стороны от линии разреза. Такой способ ограничивает влияние явно аномальных (высоких или низких) значений содержания пределами данного блока. Однако степень достоверности определений запаса песков и полезного компонента в каждом блоке оказывается более низкой в сравнении с их определениями при первом способе подсчета, так как во втором случае значительно сокращается число разведочных пересечений по каждому блоку.

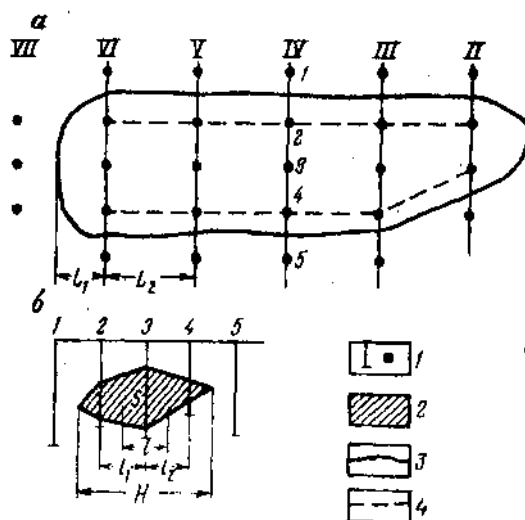


Рисунок 9 – Схема расположения подсчетных блоков при подсчете запасов руд способом разрезов; а – план; б – разрез по линии IV. 1 – разведочные выработки; 2 – площадь сечения рудного тела. Контуры : 3 – внешний; 4 – внутренний.

Подсчет способом разрезов распадается на два этапа. Сначала подсчитываются так называемые линейные запасы в пределах условных пластин, соответствующих по площадям каждому разведочному разрезу толщиной 1 м; затем путем усреднения данных по разрезам, ограничивающим блоки, находят значения подсчетных параметров для каждого блока.

Чтобы подсчитать линейные запасы в разрезе, определяются среднее

содержание полезного компонента c и средняя объемная масса полезного ископаемого d по разведочным пересечениям в этом разрезе путем вычислений способом среднего взвешенного:

$$c_{cp} = \frac{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + \dots + c_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}; \quad (13)$$

$$d_{cp} = \frac{d_1 \cdot m_1 + d_2 \cdot m_2 + \dots + d_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}; \quad (14)$$

Линейные запасы полезного ископаемого и полезного компонента, в нем заключенного, находятся из выражений: $q = Sd$; $Z = qc$, где S — площадь сечения тела полезного ископаемого в разрезе.

Объем и запас полезного ископаемого между двумя параллельными сечениями находятся как произведение полу суммы площадей пластин и запасов, заключенных в обеих пластинах, ограничивающих блок, на расстояние между ними H :

$$V = H \frac{s_1 + s_2}{2}; \quad (15)$$

$$Q = H \frac{q_1 + q_2}{2}; \quad (16)$$

$$Z = H \frac{z_1 + z_2}{2}; \quad (17)$$

Если разрезы на разведанном объекте не параллельны, а сходятся под небольшим углом (не более 10°), то расстояние между разрезами можно принимать как среднюю величину (если разведочные разрезы сильно отклоняются от параллели друг другу, то применять данный способ нецелесообразно ввиду больших погрешностей вычисления объемов отдельных блоков и тела в целом):

$$H = \frac{H_1 + H_2}{2}; \quad (18)$$

где H_1 и H_2 - перпендикуляры, опущенные из середины каждого разреза на противоположный разрез (рисунок 10).

Объемы и запасы полезного ископаемого в крайних блоках вычисляются на основе ограниченной экстраполяции, обычно на половине расстояния между последними разрезами — пересекшим и не пересекшим залежь полезного ископаемого.

Среднее содержание полезного компонента и средняя объемная масса в блоке между разрезами вычисляются как отношения величин:

$$d_{\text{ол}} = \frac{Q}{V}; \quad (19)$$

$$c_{\text{ол}} = \frac{Z}{Q}; \quad (20)$$

Приведенные формулы применимы только при параллельных разрезах или при их расположении под небольшим углом друг к другу, а также, если разница в площадях сечений соседних разрезов не превышает 40%.

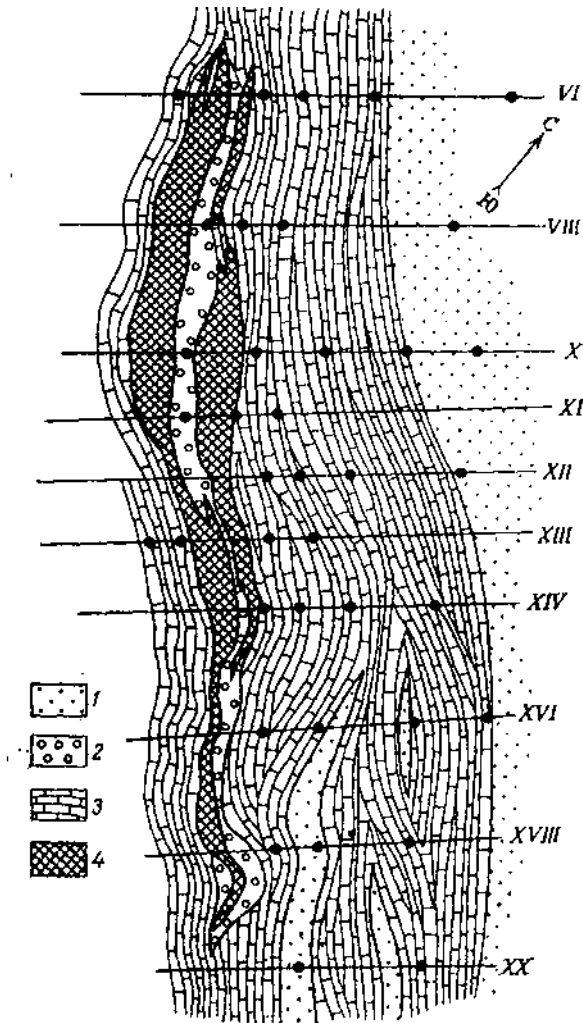


Рисунок 10 - Схема определения среднего расстояния между непараллельными разрезами.

Пример применения способа вертикальных разрезов (по Б. М. Крейтеру)

Белорецкое железорудное месторождение залегает среди отложений эффузивно-осадочного комплекса, относимых к девону. Девонские отложения вместе с подстилаю-их свитами ордовик-силурийских осадочно- метаморфических пород

собраны в складки и прорваны герцинскими интрузиями. Рудоносная скарновая зона, согласная с элементами залегания вмещающей свиты, приурочена к горизонту мраморизованных известняков с прослоями роговиков. Наибольшая концентрация магнетита наблюдается в ее висячем и лежачем, боках, где и выделяются два рудных тела, разделенных прослоем безрудных скарнов (рисунок 11).



1 – песчаники и роговики; 2 – скарны; 3 – мраморизованные известняки; 4 – магнетитовые руды. Римскими цифрами даны номера разрезов

Рисунок 11 – Геологический план Белорецкого железорудного месторождения.

Рудные тела имеют форму уплощенных линз с размерами по простиранию 1360 и 1040 м, но падению 510 и 300 м при средних мощностях 20 и 22 м. Руды характеризуются средним содержанием железа валового 33,9 %, серы 0,23 %, кремнезема 26,5%, глинозема 2,75%. Они удовлетворительно обогащаются на магнитных сепараторах (извлечение 81%) и хорошо агломерируются. Суммарные

запасы руд около 120 млн. т.

Разведка месторождения производилась в две стадии: в стадию предварительной разведки рудные тела были вскрыты с поверхности серией канав, пройденных через 40 м друг от друга, и пересечены на глубине единичными скважинами. Детальная разведка месторождения осуществлялась при помощи скважин колонкового бурения глубиной до 450 м. Скважины проходились с наклоном и пересекали рудные тела на расстояниях от 40 до 240 м друг от друга, образуя серию вертикальных разрезов. Расстояние между разрезами в среднем около 200 м.

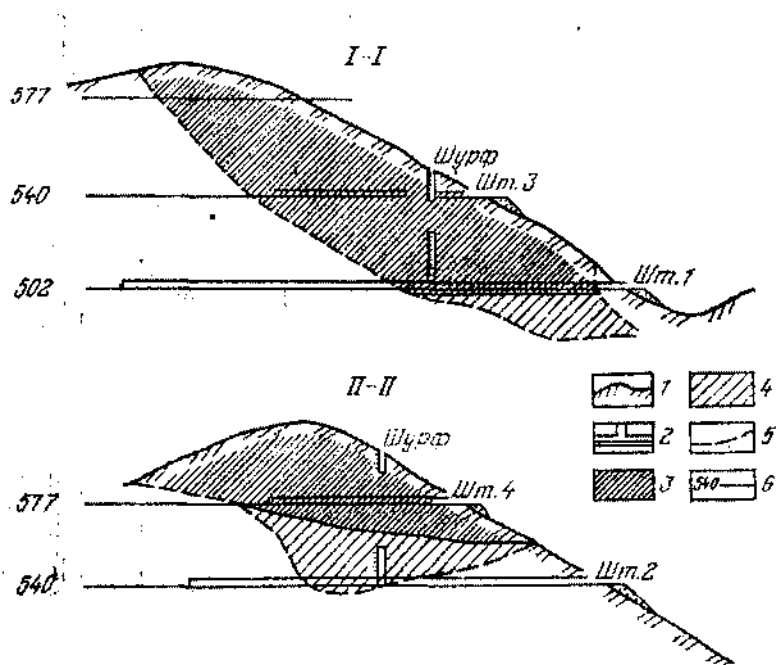
Опробование рудных тел проводилось бороздовым способом в разведочных канавах секциями по 2 м длиной при сечении борозды 10x5 см, а в скважинах отбирался материал из керна по трехметровым интервалам. Подсчет запасов железной руды выполнен способом вертикальных параллельных сечений. Минимальное содержание железа в руде для подсчета принято 25%, отдельно подсчитаны забалансовые запасы руд с содержанием железа 20 — 25%. Некондиционные прослои руд и пустых пород мощностью до 2 м включались в подсчет балансовых запасов, если среднее содержание по разведочному пересечению при этом вместе с прослоями не было ниже 25%. Минимальная промышленная мощность руды установлена была в 2 м. Подсчет запасов произведен на основании 1350 рядовых и 65 групповых химических анализов. Измерение площадей выполнялось планиметром. Объемная масса на основании 506 определений была установлена дифференцированно в зависимости от содержания железа в руде. Среднее содержание металла по скважинам определялось как среднее взвешенное на общие длины рудных интервалов по каждому разведочному пересечению. Оконтуривание подсчетных блоков и присвоение им той или другой категории выполнялось исходя из следующих положений. Запасы категории В выделялись в достаточно надежном контуре между разведочными пересечениями, фиксирующими непрерывность рудного тела. Для категории С₁ допускалось проведение менее надежных контуров между скважинами, отстоящими далеко друг от друга, а также контуров, полученных путем интерполяции данных между рудной

и нерудной скважиной, как правило, на половину расстояния между ними и путем экстраполяции за пределы крайнего разведочного пересечения на 100 м. Запасы категории C_3 примыкают к блокам запасов категории C_1 ниже по падению рудных тел с экстраполяцией их в этом направлении до 200 м. Среднее содержание металла в блоках категорий C_2 принималось таким же, как и содержание в смежных блоках категории C_1 . Общий контур рудных залежей отстраивался из расчета плавного выклинивания рудных тел.

Пример применения способа горизонтальных разрезов (по А. П. Прокофьеву). Оловорудное штокверковое месторождение находится в центральной части массива гранодиорит-порфиров. Рудные минералы приурочены к сети разноориентированных мелких прожилков, линзочек и друз и ассоциируют с кварцем. Мощность прожилков не превосходит обычно 1—2 см при нескольких десятках сантиметров по длине. Промышленные руды слагают массивное несколько уплощенное тело, обнажающееся на водоразделе и по склону на значительной площади. Штокверк не имеет четких геологических границ, поэтому его условные контуры проведены в связи с подсчетом запасов руд на основании данных систематического опробования как поверхностных, так и подземных разведочных выработок.

Месторождение разведано с поверхности сетью канав и мелких шурфов при средней плотности 150 м на один пункт опробования. На глубину разведка велась горизонтальными подземными выработками из штолен, задаваемых по склону водораздела на горизонтах (снизу вверх) 502, 540 и 577 м (рисунок 12) разрезов. На каждом из трех разведочных горизонтов и по поверхности проведены контуры рудного штокверка по результатам опробования разведочных выработок (см. рисунок 12). Эти контуры оказались существенно различными на разных горизонтах. Площади сечений штокверка отличаются друг от друга в 1,5—2 раза по размерам и смещены одна относительно другой ввиду склонения рудного тела. Таким образом, общая форма рудного тела представляет собой подобие сильно наклонной призмы, которая и была рассечена горизонтальными разрезами на три части: от поверхности до горизонта 577 м, от горизонта 577 м до горизонта 540 м и

от этого горизонта до самого нижнего разведочного горизонта 502 м.



1 - почвенно-растительный слой; 2 - горные разведочные выработки; 3 - запасы категории C_1 ; 4 - общий контур промышленных руд; 5 - общий контур промышленных руд; 6 - разведочный горизонт и его отметки, м

Рисунок 12 – Разрезы штокверкового оловорудного месторождения по линиям I-I и II-II

Ниже горизонта 502 м, на котором вскрыта наименьшая площадь выклинивающегося с глубиной рудного тела, подвешен четвертый экстраполированный блок на небольшую глубину— на половину расстояния между разведочными горизонтами.

В итоге описанных построений для подсчета запасов образованы три подсчетных блока. Каждый из этих блоков заключен между разведочными горизонтами, по которым определены средние содержания олова по данным обоих горизонтов, ограничивающих блок. Объемы рудного тела между горизонтами подземных горных выработок вычислены по формуле призмы. Объем тела между поверхностью и горизонтом 577 м вычислен по формуле цилиндра, за основание которого принята площадь сечения штокверка на горизонте, а за высоту — среднее расстояние от этого горизонта до поверхности. Также по формуле цилиндра

вычислен объем самого нижнего блока, для которого основанием послужили площади на горизонтах 502 м и 540 м, а высотой — половина расстояния между верхними горизонтами.

Запасы трех верхних блоков по степени их разведанности отнесены к категории C_1 . Запасы самого нижнего экстраполированного блока квалифицированы по категории C_2 (рисунок 13).

Горизонт	Номер пробега по выработке	Содержание олова, %	Площадь горизонта, тыс. м ²	Высота угла, м	Объем подсчетный на этаже, тыс. м ³	Запас руды, тыс. т	Запас металла, т
Поверхность	1	c_1	S_n				
	2	c_2					
	n_1	c_{n_1}					
Среднее		C_n					
577	1	c_1	S_{577}	h_2	$V_1 = \frac{S_n + S_{577}}{2} h_1$	$Q_1 = V_1 d$	$Z_1 = Q_1 \frac{c_n + c_{577}}{2}$
	2	c_2					
	n_2	c_{n_2}					
Среднее		C_{577}					
540	1	c_1	S_{540}	h_3	$V_2 = \frac{S_{577} + S_{540}}{2} h_2$	$Q_2 = V_2 d$	$Z_2 = Q_2 \frac{C_{577} + C_{540}}{2}$
	2	c_2					
	n_3	c_{n_3}					
Среднее		C_{540}					
502	1	c_1	S_{502}	h_3	$V_3 = \frac{S_{540} + S_{502}}{2} h_3$	$Q_3 = V_3 d$	$Z_3 = Q_3 \frac{C_{540} + C_{502}}{2}$
	2	c_2					
	n_4	c_{n_4}					
Среднее		C_{502}					
Итого по категории C_1						$Q_1 + Q_2 + Q_3$	$Z_1 + Z_2 + Z_3$
540 502		c'_{540} c_{502}	S'_{540} S_{502}		$V_4 = (S'_{540} + S_{502}) h_4$	$Q_4 = V_4 d$	$Z_4 = Q_4 C_4$
	Среднее		C_4	S_4			
Итого по категории C_2						Q_4	Z_4

Рисунок 13 – Формуляр подсчета запасов оловянного штокверка по способу горизонтальных разрезов

Прочие способы подсчета запасов

Способы подсчета запасов, вышедшие из употребления или редко применяющиеся в последнее время ввиду неоправданной их трудоемкости, тем не менее могут быть использованы в особых случаях, например при научных исследованиях или для целей наиболее наглядного изображения результатов разведки на разного рода выставках и т. п.

Статистический способ

Этот способ подсчета запасов заключается в выяснении выхода полезного ископаемого в результате эксплуатации части месторождения и затем в распространении полученных данных на всю остальную площадь (объем) месторождения, где сохраняется та же геологическая обстановка. Так, по верхнему эксплуатационному этажу по данным детальной разведки и эксплуатации определяются запасы руды на 1 м углубки и затем принимается условие, что с глубиной сохраняется такое же значение величины запасов на каждый метр по вертикали. Отсюда подсчитываются общие запасы месторождения (отдельной залежи).

Такой подсчет дает лишь ориентировочное представление о возможных запасах на участках, прилегающих к эксплуатируемому. Он применяется на действующих предприятиях при оценке флангов или других частей месторождения для выяснения целесообразного направления разведочных работ. Этот способ также применим для приблизительного определения прогнозных запасов рудных полей и бассейнов. Этим способом подсчитывались запасы пьезооптического кварца на некоторых месторождениях, обладающих исключительно сложным строением и крайне неравномерным распределением полезных минералов в пределах месторождения.

Способ ближайшего района (А. К. Болдырева)

Месторождение разбивается на ряд многоугольников в плане с таким

расчетом, чтобы к каждому разведочному пересечению отошел тяготеющий к нему ближайший участок (рисунок 14, а). Для построения многоугольников каждую точку разведочного пересечения в плане, разрезе или в проекции на плоскость тела полезного ископаемого соединяют прямыми линиями со смежными пунктами разведочных пересечений; затем каждая такая вспомогательная линия делится пополам перпендикуляром к ней. Пересечения всех перпендикуляров вокруг точки образуют замкнутый многоугольник, являющийся «ближайшим районом», на который распространяются данные, полученные по соответствующему разведочному пересечению.

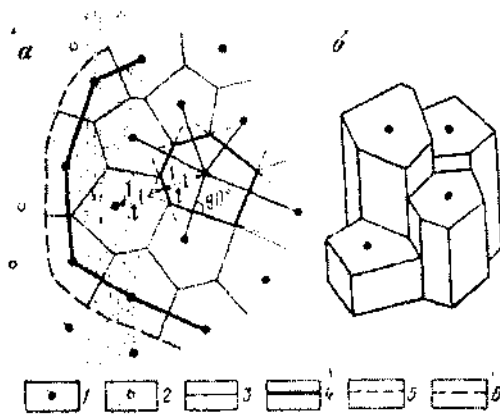


Рисунок 14 - Схема построений к подсчету запасов способом ближайшего района: а — часть подсчетного плана с примером построения многоугольника по одной из выработок (вертикальное разведочное пересечение); б — форма рудного тела, преобразованная по способу ближайшего района (в аксонометрической проекции).

1 — выработки, вскрывшие полезное ископаемое; 2 — безрудные выработки; 3 — контуры подсчетных многоугольников; 4 — внутренний контур подсчета запасов; 5 — внешний контур подсчета запасов; 6 — контур единичной призмы в плане

Таким образом месторождение разбивается на множество многогранных призм (см. рисунок 14,б), высотой которых являются мощности тела полезного ископаемого в каждой призме.

Запасы полезного ископаемого вычисляются в каждой призме по данным

одной скважины, расположенной в середине призмы. Общие запасы месторождения являются суммой запасов, подсчитанных в отдельных призмах.

Способ треугольников

Построения для подсчета заключаются в соединении всех пунктов разведочных пересечений на подсчетном плане прямыми линиями, в результате чего площадь объекта разведки условно делится на множество прилегающих друг к другу треугольников (рисунок 15). Так тело полезного ископаемого подразделяется на трехгранные призмы, ребра которых представлены разведочными пересечениями. В каждой призме учитываются данные, полученные по трем разведочным пересечениям.

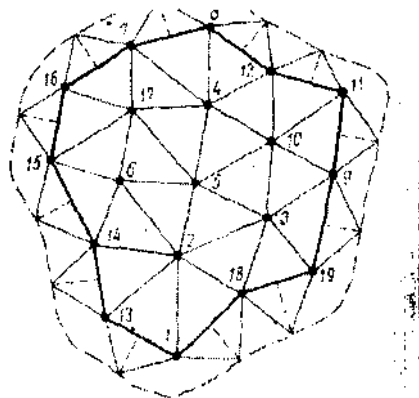


Рисунок 15 - Схема расположения подсчетных блоков при подсчете запасов способом треугольников.

Запасы полезного ископаемого подсчитываются в каждой отдельной призме, объем которой определяется как произведение средней мощности по трем пересечениям на площадь треугольного основания. Средние содержания полезных компонентов и средние объемные массы в пределах призмы вычисляются по данным тех же трех разведочных пересечений. Общие запасы объекта разведки подсчитываются как сумма запасов всех трехгранных призм.

Способ изолиний

Существует несколько способов подсчета запасов полезных ископаемых при помощи изолиний — построений, широко применяющихся в разведочном деле для наглядного изображения тех или других свойств разведки (форм тел полезных ископаемых, распределения содержаний полезных компонентов или вредных примесей, физических свойств руд и т. п.). Однако эти способы применяются в редких случаях главным образом ввиду сложности построений и подсчетов. Из способов изолиний, которые применялись для подсчета запасов разведанного месторождения или его части, можно назвать способ Ф. Н. Шклярского, разработанный к подсчету запасов липецких месторождений железных руд в 1921 г., и способ П. К. Соболевского, впервые опубликованный в 1928 г. И тот и другой способы заключаются в преобразовании сложных природных форм тела полезного ископаемого в несколько упрощенное равновеликое тело по правилам топографии. Такое преобразованное тело отображается в виде топографической поверхности в плане, ограничивающей его сверху, а нижняя поверхность тела представлена плоскостью. Для подсчета запасов вычисляется объем тела аналитическим путем (по формуле приближенного интегрирования или по формулам геометрии) или графоаналитическим способом, когда производятся измерения площадей горизонтальных сечений палеткой или планиметром и объем вычисляется как произведение площадей средних сечений на расстояния между ними. Запасы полезного компонента вычисляются как произведения средних значений объемной массы и содержания полезного компонента на объем тела полезного ископаемого.

Способы подсчета жидких и газообразных полезных ископаемых

Различают три метода подсчета запасов нефти: объемный, статистический и материального баланса.

Объемный метод основан на данных о распределении нефти* в горных породах. По этому методу подсчитывается извлекаемый запас нефти исходя из нефтеносной площади, эффективной мощности пласта, коэффициентов,

характеризующих нефтенасыщенность и способность нефти выделяться из вмещающих пород с учетом плотности жидкости.

Статистический метод подсчета основан на изучении закономерности падения дебита нефтяных скважин по соответствующим кривым. Экстраполяция этих кривых дает возможность определить добычу и запасы нефти в предстоящий период.

Метод материального баланса базируется на изучении физических свойств жидкости и газа, содержащихся в пласте, и изменении их соотношений в процессе разработки месторождения. На основании изменений пластового давления по мере извлечения нефти и перераспределения в пласте нефти, воды и газа можно составить уравнение материального баланса. Это последнее дает возможность подсчитать запас нефти.

Методы подсчета запасов газа — объемный и падения давления — основаны на изучении пористости пород, вмещающих, газ, или на изучении падения давления газа по мере его извлечения из недр. И тот и другой методы дают возможность определить извлекаемые запасы газа.

Методы подсчета запасов подземных вод основываются на определениях объемов водоносных горных пород и на их водоотдаче под влиянием различных условий статического или динамического напора. При этом различаются способы подсчета:

1. Вековых запасов подземных вод;
2. Эксплуатационных запасов этих вод.

Способ оперативного определения степени достоверности запасов

Достоверность подсчитанных запасов полезного ископаемого или так называемая «интервальная оценка» может быть выяснена в процессе разведки, не ожидая подтверждения ее результатов данными отработки объекта. Определение достоверности результатов разведки в процессе ее проведения необходимо для решения следующих практических вопросов;

1. Прекращать разведочные работы данной стадии или продолжать их?

2. Рекомендовать объект для разработки или еще необходимы существенные уточнения разведочных данных для этого?

Если систематические технические ошибки измерений и определений, а также случайные грубые просчеты выявлены и устранены, то основные результаты разведки — величина запаса и показатели качества полезного ископаемого — содержат только ту часть общей погрешности их определения, которая выражается в ошибке аналогии. Эта ошибка, никогда не известная в процессе разведки до тщательной отработки объекта, находится в некоторых пределах, которые можно установить на основании геометризованной модели объекта при помощи математической статистики и теории вероятности. Так, теоретически обоснованы пределы значений запаса полезного ископаемого и его подсчетных параметров (площади, средних мощностей, объемных масс и содержаний полезных компонентов). Эти пределы характеризуются максимально возможными X_{\max} и минимально возможными X_{\min} значениями признаков; последние соответствуют наибольшим положительным и отрицательным погрешностям в определении признаков $+\Delta X_1$ и $-\Delta X_2$:

$$X_{\max} = X_{\min} + \Delta X_1; \quad (21)$$

$$X_{\min} = X_{\text{uct}} - \Delta X_2; \quad (22)$$

Разность предельных значений признака, равная сумме абсолютных величин предельных (положительной и отрицательной) погрешностей определения этого признака, является размахом возможных его значений R_x по данной разведочной выборке:

$$R_x = X_{\max} - X_{\min} = \Delta X_1 + \Delta X_2; \quad (23)$$

Чем больше размах, тем меньше достоверность подсчитанной величины запаса полезного ископаемого, его качественного показателя или какого-либо другого подсчетного параметра. Относительным показателем достоверности,

важным для сравнения степени достоверности определений на разных объектах, разведки (месторождениях, залежах, блоках) может служить величина $D_x = R_x / X_{\max}$

На рисунке 16 показаны кривые вероятных предельных значений признаков и достоверности определений этих признаков D на конкретных объектах. Как видно, эти кривые отражают изменения значений и степени достоверности определений от интенсивности разведки (густоты разведочной сети и соответствующего числа разведочных пересечений N_p).

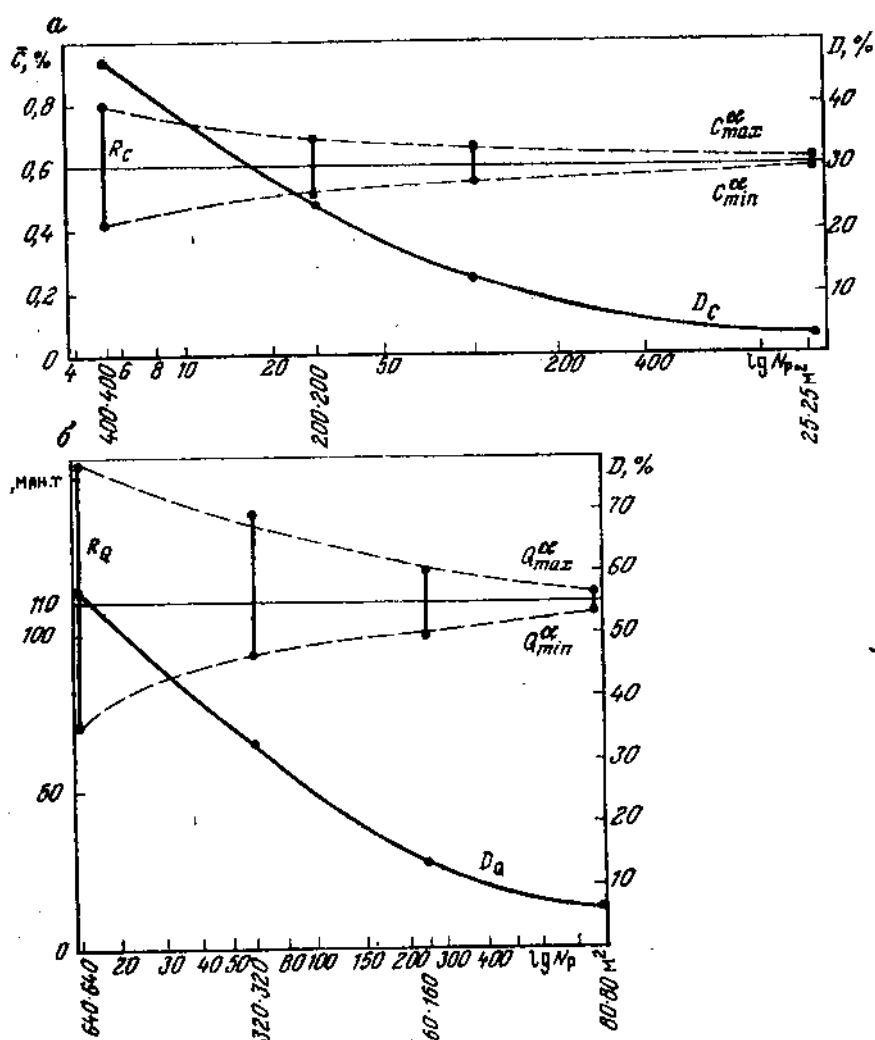


Рисунок 16 – Кривые предельных значений признаков и достоверности D и их определения в зависимости от густоты разведочной сети: а – на свинцовом месторождении, б – на месторождении меди. C_{\min}^a , C_{\max}^a – вероятные предельные значения среднего содержания при вероятности $a=0,9$; D_c – показатель

относительной достоверности определений среднего содержания Q_{\min}^a , Q_{\max}^a – вероятные пределы запаса руды при вероятности $a=0,9$; D_Q – показатель относительной достоверности определения величины запаса руды.

Вероятные предельные значения признаков X_{\max}^a и X_{\min}^a подсчетных площадей, средних мощностей тел, средних объемных масс полезного ископаемого, средних содержаний полезного компонента и в конечном счете запаса полезного ископаемого определяются методом геометризации и математической статистики.

По завершении предварительной разведки и в процессе детальной разведки месторождения осуществляется его прогнозная оценка на основании оценочных показателей, рассчитанных по достаточно надежным результатам разведки, с изучением возможностей добычи и переработки полезного ископаемого, а также экономики района.

Предварительные прогнозные оценки, осуществляются в процессе разведки месторождения, преимущественно в последний период разведочных работ предварительной стадии или при детальной разведке до ее завершения.

Контрольные вопросы

- 1 Какие выделяют геологические предпосылки и признаки рудоносности ?
- 2 Что такое прогнозные критерии рудоносности ?
- 3 Какие выделяют признаки потенциальных рудных районов и узлов ?
- 4 Что такое поисковые критерии рудоносности ?
- 5 Охарактеризуйте геологические предпосылки потенциальных месторождений полезных ископаемых.
- 6 Что такое разведочное пересечение, разрез и система ?
- 7 Охарактеризуйте основные способы подсчета запасов полезных ископаемых.
- 8 Охарактеризуйте дополнительные способы подсчета запасов полезных ископаемых.
9. Охарактеризуйте способы подсчета жидких и газообразных полезных ископаемых.
10. Что такое способ оперативного определения степени достоверности запасов?

5 Геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых

Для научного обоснования методики и направления геологоразведочных работ необходимо знать условия формирования и закономерности пространственного размещения полезных ископаемых в структурах земной коры. Совокупность этих знаний представляет собой геологические основы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых.

Изучение условий формирования и закономерностей размещения полезных ископаемых в недрах входит в задачу учения о полезных ископаемых. Основная задача учения о полезных ископаемых сводится к разработке теории рудообразования, познанию геологических и физико-химических условий формирования месторождений, выяснению причин их размещения в конкретных геологических структурах и, в конечном итоге, созданию генетической классификации месторождений полезных ископаемых. Однако современное состояние теории рудообразования еще не позволяет создать такую генетическую классификацию, которая исчерпывающе удовлетворяла бы запросам практики поисково-разведочных работ. Генетические классификации, основанные на совокупности главным образом предполагаемых признаков, всегда несут элемент гипотетичности. Поэтому принадлежность конкретных, даже хорошо изученных месторождений к тому или иному генетическому подразделению часто остается дискуссионной, что приводит к неопределенности решений прикладных геологоразведочных задач. Тем не менее генетические классификации весьма существенны и для геологоразведчиков, так как борьба противоположных мнений стимулирует расшифровку спорных и неясных вопросов, способствуя совершенствованию теории рудообразования. В совокупности с

основными положениями теории рудообразования в практике поисков и разведки широко используются эмпирически" установленные геологические закономерности, подтвержденные мировым опытом геологоразведочных и горно-эксплуатационных работ. В первую очередь к ним относятся сведения о важнейших геолого-промышленных типах месторождений полезных ископаемых, уже изученных и освоенных горной промышленностью, Совокупность этих сведений используется в качестве важнейшей априорной геологической информации при прогнозировании, поисках, разведке и оценке новых месторождений в сходной геологической обстановке. В таких случаях геолого-промышленные типы месторождений рассматриваются как обобщенные эталоны-аналоги, что способствует эффективному применению принципа аналогии, особенно на ранних стадиях геологоразведочных работ.

5.1 Понятие о геолого-промышленных типах месторождений полезных ископаемых

При поисках и разведке полезных ископаемых главными масштабными эталонами служат месторождения, поскольку к их выявлению и геолого-экономической оценке сводится, в конечном итоге, назначение геологоразведочных работ.

Обычно под термином «месторождение» подразумевается природное скопление полезного ископаемого, которое в количественном и качественном отношениях может служить предметом промышленной разработки при данном состоянии горной технологии и в данных географо-экономических условиях. Однако это широко распространенное определение неполно, так как не содержит указаний о масштабах природных скоплений полезных ископаемых. В горнорудной практике масштабы месторождений, как правило, сопоставимы с масштабами самостоятельных

производственных единиц горнорудных предприятий, т. е. рудников, карьеров, приисков или шахт. С учетом этого обстоятельства *под термином «месторождение полезного ископаемого» следует понимать такое его природное скопление, которое в количественном и качественном отношении может служить минерально-сырьевой базой самостоятельного участка горнодобывающего предприятия.* Месторождения полезных ископаемых отличаются разнообразием форм и структур - от простых, представленных одним или несколькими участками минерализованных пород с технологически⁴ сплошным строением, до сложных, состоящих из систем пространственно-обособленных минерализованных зон, залежей и более мелких скоплений полезного ископаемого различных размеров и продуктивности.

Природные типы месторождений полезных ископаемых весьма многочисленны и разнообразны, но далеко не все из них играют заметную роль в балансе мировых запасов и добыче минерального сырья. Основная масса добываемого в мире минерального сырья поступает только из некоторых, численно весьма ограниченных природных типов месторождений, хотя единичные месторождения самых различных генетических типов успешно используются промышленностью. Так, железо добывается из месторождений 30-ти, а медь — из месторождений более чем 15-ти генетических типов, в то время как определяющую роль в балансах запасов и в добыче железных руд играют только пять, а меди — только четыре типа. Поэтому в практике геологоразведочных работ появилась необходимость выделения геолого-промышленных типов месторождений - основных поставщиков минерального сырья, занимающих ведущее место в балансе и добыче мировых запасов.

Понятие о промышленных типах месторождений и их классификация по главным видам минерального сырья были предложены В.М. Крейтером. В понятие «промышленный тип» объединяются лишь те месторождения,

которые зарекомендовали себя как устойчивые поставщики данного вида минерального сырья, обеспечивают не менее 1 % его добычи и экономически рентабельно разрабатываются.

Знание геолого-промышленных типов месторождений особенно необходимо на ранних стадиях поисковых и разведочных работ для предварительного суждения о перспективах промышленной минерализации и прогнозной геолого-экономической оценки изучаемых месторождений. Именно в эти периоды из-за неполноты фактических данных особенно сложно использование принципа аналогии и весьма остро ощущается необходимость в проверенных практикой эталонах-аналогах.

Понятие о геолого-промышленном типе месторождения изменяется по мере обнаружения и освоения месторождений новых генетических типов, усовершенствования технологии и технических средств ведения горных работ. В текущем столетии новые промышленные типы появляются за счет вовлечения в промышленность месторождений крупных по запасам, но бедных по содержанию полезных компонентов, в то время как богатые по содержанию, но мелкие по масштабу месторождения постепенно теряют свое промышленное значение.

5.2 Принципы классификации геолого-промышленных типов месторождений полезных ископаемых

Единых принципов классификации геолого-промышленных типов месторождений пока что не разработано. Одни геологи принимают за основу генетические признаки, другие - морфологию залежей, состав вмещающих пород или минеральный состав полезных ископаемых. Как правило, классификации геолого-промышленных типов месторождений разрабатываются применительно к каждому виду минерального сырья, в результате чего месторождения одного и того же промышленного типа

неоднократно повторяются при рассмотрении различных видов полезных ископаемых.

Для целей поисков и разведки полезных ископаемых наиболее приемлема группировка промышленных типов месторождений по формационному принципу. Такая группировка способствует повышению геологической информативности прогнозов и более полной оценке вероятного комплекса полезных компонентов. В понятии геолого-промышленного типа учитываются технологические, горнотехнические и экономические признаки, определяющие качество и технологические свойства полезных ископаемых, горно-геологические условия разработки месторождений и экономическую эффективность их использования в народном хозяйстве. Качество и технологические свойства, полезных ископаемых зависят от их вещественного состава и комплекса промышленно-ценных минералов; горно-геологические условия разработки месторождений - от характера связи полезной минерализации с элементами геологического строения и типа рудоконтролирующей структуры, условий залегания, морфологических особенностей и строения месторождений, а экономическая эффективность их использования - от масштаба запасов и сочетания горно-геологических, технологических и экономико-географических факторов. В свою очередь все перечисленные свойства месторождений зависят от геологических условий их проявления, минерального и химического состава полезных ископаемых, т. е. от совокупности признаков, которые служат основой для выделения рудных формаций. Таким образом, представления о геолого-промышленных типах месторождений полезных ископаемых и, в первую очередь, рудных месторождений объективно связаны с представлениями об их рудных формациях, а использование этих связей способствует повышению эффективности поисковых и разведочных работ.

При рассмотрении вопроса о формационной принадлежности геолого-промышленных типов месторождений, в отличие от формационного анализа,

задача сводится не к выявлению продуктивности различных геологических формаций на те или иные полезные ископаемые, а к установлению совокупности признаков, обеспечивающих оценку степени подобия, условий формирования данных месторождений и их связей с конкретными геологическими формациями.

В литературе можно найти различные определения понятия «рудная формация», однако все они сходятся на том, что это группа месторождений с близкими условиями образования и рудами сходного состава. Основные же различия между этими определениями заключаются в выборе критериев подобия и, как следствие этого, в масштабах выделяемых групп месторождений.

Для целей классификации геолого-промышленных типов месторождений наиболее приемлемо определение, согласно которому рудная формация рассматривается как устойчивая естественная ассоциация месторождений, близких (но не обязательно идентичных) по генезису, минеральному составу и возрасту, сформированная в определенной геотектонической обстановке и пространственно ассоциированная с той или иной геологической формацией. В таком понимании рудная формация представляет собой парагенетическую ассоциацию месторождений, объединенную не только сходством состава и внутреннего строения, но и сходством внешних связей месторождений с элементами региональной геологической структуры.

Поскольку представления о геолого-промышленных типах складываются из мирового опыта разведки и эксплуатации сходных месторождений, а знание их особенно важно на ранних стадиях геологоразведочных работ, критерии подобия сравниваемых геолого-промышленных типов месторождений должны быть достаточно широкими. Для использования принципа аналогии на ранних стадиях геологоразведочных работ важно установить принципиально сходные черты,

объединяющие месторождения данного типа, отвлекаясь от второстепенных, хотя и отчетливо выраженных различий в составе руд и в локальных геологических условиях формирования месторождений. Достаточно, чтобы каждая рудная формация характеризовалась определенным комплексом полезных компонентов, была сопоставима с той или иной формацией магматических, осадочных, метаморфических или метасоматических пород и занимала вполне определенное геотектоническое положение. По мере детализации проводимых исследований в пределах отдельных рудных формаций могут выделяться субформации, фациальные типы, а внутри них — минеральные типы. Для оценки формационной принадлежности геолого-промышленных типов месторождений может быть использована совокупность различных критериев подобия, среди которых принципиальное значение имеют: геотектоническая позиция рудных районов или узлов; устойчивые связи месторождений с конкретными формациями магматических, осадочных, метаморфических или метасоматически измененных пород; сходство минерального и химического состава полезных ископаемых. Для расчленения рудных формаций на фациальные типы могут быть использованы: особенности структур рудных полей или узлов, устойчивые связи полей и месторождений с фациями и литолого-петрографическим составом магматических, осадочных и метаморфических пород или фациальные особенности метасоматических формаций.

Для выделения минеральных типов формаций полезных ископаемых используются данные о парагенетических ассоциациях и зональности полезных и жильных минералов в пределах отдельных месторождений (реже рудных полей) с учетом текстурных особенностей скоплений полезных ископаемых, определяющих строение отдельных их участков и зон. С укрупнением масштаба исследований возрастает детальность формационного расчленения групп изучаемых месторождений, а роль ведущих критериев подобия переходит от одних признаков сходства к

другим.

С учетом перечисленных критериев и принципов можно выделить 35 важнейших геолого-промышленных типов месторождений, каждый из которых может рассматриваться и как самостоятельная формация полезных ископаемых. Из них 5 геолого-промышленных типов месторождений относятся к формациям древних щитов и платформ, 9 - к формациям геосинклинальных поясов, 8 - к формациям постскладчатых и активизированных складчатых поясов, 7 - к формациям активизированных платформ и 6 - к формациям фанерозойских платформ. Железо-марганцевые месторождения и металлоносные рассолы современных океанических формаций в числе геолого-промышленных типов не рассматриваются, поскольку их значение как устойчивых поставщиков минерального сырья еще неясно.

5.3 Основные геолого-промышленные типы

5.3.1 Геолого-промышленные типы месторождений древних щитов и платформ

В пределах докембрийских щитов и древних платформ сосредоточены основные запасы железных руд, золота и мусковита, значительные запасы урана и ограниченные запасы полиметаллов. Почти все древние месторождения располагаются в метаморфических породах щитов, в кристаллических основаниях платформ и значительно реже - в базальных горизонтах чехлов древних платформ. Их возраст колеблется от архея до позднего протерозоя, а отличительными чертами являются четко проявленный стратиграфический и литологический контроль оруденения, преимущественно стратиформный, часто складчатый облик скоплений полезных ископаемых со сложным слоистым или ритмичным внутренним строением. К числу важнейших геолого-промышленных типов древних

месторождений относятся (таблица 5):

- месторождения железистых кварцитов и кор их выветривания;
- древние метаморфизованные полиметаллические месторождения;
- редкометально-мусковитные гранитные пегматиты;
- месторождения древних золото- и ураноносных конгломератов.

В месторождениях железистых кварцитов содержится 67 % мировых запасов и 55 % запасов железных руд СНГ. Они обеспечивают около 60 % добычи железа. В месторождениях этого типа отчетливо выделяются две субформации: пластовые месторождения гематит-магнетитовых железистых кварцитов, представляющих собой метаморфизованные тонкослоистые породы кремнисто-железистого состава зелено-сланцевой, реже амфиболитовой фации метаморфизма, часто со следами воздействия древних гидротермальных растворов, и гематит-магнетитовые площадные и линейные коры выветривания, развитые по вторичным кварцитам. Древние пластовые полиметаллические месторождения содержат около 10% мировых запасов свинца и цинка. Они залегают в толщах складчатых метаморфических пород протерозойского возраста, представленных ритмичными отложениями вулканогенной и карбонатно-кремнистой протогеосинклинальных формаций, метаморфизованными до состояния кварцево-сланцевых и филлитовидных сланцев. Месторождения располагаются в интенсивно дислоцированных синклинальных структурах и представлены минерализованными зонами расланцевания пород. Руды отличаются сложным составом и высокотемпературными парагенезисами.

Формация древних полиметаллических месторождений связана переходами с геосинклинальными формациями колчеданных и стратиформных полиметаллических месторождений.

Таблица 5 - Главные геолого-промышленные типы месторождений древних щитов и платформ

Геолого-промышленный тип (формация)	Рудоносные формации горных пород	Рудовмещающие структуры	Морфология и строение месторождений	Состав полезных ископаемых	Полезные компоненты		Примеры
					главные	сопутствующие	
Железистые кварциты и коры их выветривания	Метаморфизированные кремнисто-железистые толщи пород (железистые кварциты, итабириты)	Слоистые и складчатые структуры, послойные зоны и секущие нарушения линейных кор выветривания	Системы пластоподобных складчатых залежей сложного строения. Плащепоподобные залежи	Магнетитовые, гематитовые и мартитовые руды с содержанием железа от 20-40% (железистые кварциты) до 58%	Железо	-	Кривой Рог, КМА (СССР) месторождения Бразилии, США
Древние метаморфизированные полиметаллические месторождения	Метаморфизированные толщи вулканотерригенных и карбонатно-кренистых протогeosинклинальных формаций	Слоистые, складчатые, синклинальные структуры зоны расслаивания	Минерализованные зоны расланцевания. Системы уплощенных пластовых залежей и линз	Катаклазированные перекристаллизованные сульфидно-карбонатно-кварцевые свинцово-цинковые руды	Свинец, цинк	Медь, мышьяк, кадмий, индий, висмут, олово	Горевское, Холоднинское (СССР); Суливан (Канада); Брокенхилл (Австралия)
Редкометалльно-мусковитовые гранитные пегматиты	Метаморфизированные породы аспидно-сланцевой и флишоидной протогeosинклинальных формаций	Системы секущихся и послойных тектонических нарушений	Системы согласных пластоподобных залежей зонального строения	Альбит-микроклиновые пегматиты с мусковитом и редкометалльными минералами	Мусковит	Керамическое сырье, редкие металлы	Карело-Кольская провинция СССР; Вихар (Индия)
Древние золото- и ураносные конгломераты	Метаморфизированные отложения палеомолассоидных формаций	Базальные горизонты нижнепротерозойских пород	Системы пластовых залежей слож. строением	Золото- и ураносодержащие конгломераты и аркозы	Золото, уран	Редкие земли	Элиот-Лейк (Канада); Витватерсранд (ЮАР)

Месторождения ультраметаморфических гранитных пегматитов представляют собой моно- и полициклические образования, тесно связанные с процессами гранитизации и регионального метаморфизма в фациях, не ниже амфиболитовой (по температуре) и дистен-силлиманитовой (по давлению). В них сконцентрированы практически все запасы высокосортного мусковита и около 35 % мировых запасов тантала. Среди древних пегматитов выделяются месторождения четырех подтипов (субформаций): кварц-полевошпатовые, мусковитовые, редкометальные и хрусталеносные пегматиты, которые в свою очередь разделяются на ряд минеральных типов. Ведущее значение в локализации месторождений принадлежит литологическим факторам - толщам пород благоприятного состава, к числу которых относятся биотитовые, гранат-биотитовые и двуслюдяные плагиогнейсы или сланцы, представляющие собой продукты метаморфизма глинистых и аркозовых осадочных образований.

Месторождения древних золото- и ураноносных конгломератов располагаются в краевых прогибах протогеосинклиналей и характеризуются ритмичным многоярусным строением. Большинство исследователей рассматривает их как метаморфизованные древние россыпи, сформированные в период раннего протерозоя в условиях бескислородной атмосферы. В древних конгломератах сконцентрировано 60 % мировых запасов золота и 30 % запасов урана (без СНГ). Последние годы за счет этих месторождений обеспечивалось 75—80 % суммарной добычи золота в странах дальнего зарубежья.

5.3.2 Геолого-промышленные типы месторождений горноскладчатых поясов

По времени формирования среди них различаются месторождения ранних (доорогенных) и поздних (орогенных, посторогенных) этапов

развития геосинклинальных прогибов.

В доорогенных геосинклинальных месторождениях сосредоточены основные запасы хрома, полиметаллов и асбеста, значительные запасы титановых и железных руд, меди и фосфоритов, ограниченные запасы кобальта, золота и платины. Большинство этих месторождений приурочены к палеозойским и в меньшей степени - к мезо-кайнозойским прогибам эвгеосинклинального типа и сформировались в доскладчатые периоды. Они обнаруживают тесные пространственные связи либо с рудоносными формациями вулканогенно-осадочных или осадочных пород, либо с рудовмещающими интрузивными формациями ранних стадий развития геосинклиналей.

Для месторождений рассматриваемых геолого-промышленных типов типично четкое проявление стратиграфического и литологического контроля оруденения, в связи с чем многие из них характеризуются пластоподобными складчатыми формами и согласными условиями залегания. Рудовмещающие интрузивы относятся к трещинным типам, а их положение контролируется глубинными разломами, продольными по отношению к осям эвгеосинклинальных прогибов.

С поздними периодами развития геосинклиналей связаны . половина запасов ископаемых углей, значительные запасы бокситов, меди и полиметаллов. Большинство месторождений сформировалось в прогибах миогеосинклинального типа со слабым проявлением процессов магматизма и без видимых связей с ними. Для поздних этапов развития геосинклиналей характерны четкое проявление стратиграфического и литологического контроля оруденения, пластовые или стратиформные типы месторождений с подчиненным значением трещинной тектоники как рудоконтролирующего фактора. К числу важнейших геолого-промышленных типов доорогенных геосинклинальных месторождений относятся (таблица б):

- пластоподобные медно-полиметаллические месторождения железно-

марганцевой и колчеданной субформаций;

- хромито- и асбестоносные гипербазиты;
- медно-кобальтово-железорудные месторождения;
- месторождения геосинклинальных металлоносных фосфоритов.

К месторождениям поздних этапов относятся (см. таблицу б):

- месторождения геосинклинальных бокситов;
- стратиформные месторождения медистых песчаников;
- стратиформные месторождения полиметаллов;
- месторождения геосинклинальных углей.

Пластоподобные медно-полиметаллические месторождения формировались на протяжении всего фанерозоя в тесной связи с образованиями спилит-диабазовой, спилит-кератофировой, кремнисто-яшмовой или вулканогенно-терригенно-кремнисто-карбонатной формаций. Среди этих месторождений отчетливо выделяются два подтипа (субформации): колчеданный и железо-марганцевый полиметаллический, получивший название «атасуйского». Обычно месторождения колчеданной субформации тяготеют к троговым зонам эвгеосинклинальных прогибов, а их положение определяется совокупным действием вулканических, стратиграфо-литологических и структурных факторов, в то время как железо-марганцевые месторождения располагаются в удалении от троговых зон, а решающее значение для локализации оруденения имеют литолого-фациальные и стратиграфические факторы.

Таблица 6 - Главные геолого-промышленные типы месторождений геосинклинальных поясов

Геолого-промышленный тип (формация)	Рудоносные (и рудовмещающие) формации горных пород	Рудовмещающие структуры	Морфология и строение месторождений	Текстуры и состав полезных ископаемых	Полезные ископаемые		Примеры
					главные	сопутствующие	
1	2	3	4	5	6	7	8
Типы месторождений доорогенных этапов геосинклинальных поясов							
Пластоподобные медно-полиметаллические месторождения железомарганцевой и колчеданной субформаций	Спилит-диабазовая, спилит-кератофировая, кремнисто-яшмовая и кремнисто-карбонатная формации	Слоистые, складчатые и трещинные структуры вулканогенно-осадочных пород	Системы пласто-линзо-и лентообразных залежей простого и сложного строения	Массивные полосчатые и вкрапленные колчеданные медно-цинково-свинцовые, окисные и гидроокисные железомарганцевые свинцово-цинковые руды	Медь, цинк, свинец, сера, железо, марганец	Барит, мышьяк, селен, теллур, висмут, кадмий, индий, кобальт, никель	Колчеданные месторождения – «алтайский» и «уральский» типы. Железомарганцевые свинцово-цинковые месторождения – «атасуйский» тип
Хромисто-и асбестоносные гипербазиты	Интрузивная гипербазитовая (дунит-гарцбургитовая) доскладчатая формация	Трещинные интрузивы гипербазитов вдоль глубинных разломов и прогибов	Системы жилоподобных и линзообразных скоплений гипербазитов	Массивные и густовкрапленные хромитовые руды или асбестоносные породы	Хром, асбест	-	Уральские месторождения Кемпирсай (хром) и Баженовское (асбест)

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Титаномагнетитовые основные породы	Интрузивная габбро-периотитдуни-товая доскладчатая формация	Трещинные интрузивы в зонах глубинных разломов эвгеосинклинальных прогибов	Тела различных форм, сложного строения в интрузивных породах основного состава	Шлирово-полосчатые и вкрапленные титаномагнетитовые или ильменитмагнетитовые руды	Титан, железо	Ванадий, медь, осмий, иридий	Качканарское, Кусинское
Скарновые меднокобальтово-железородные месторождения	Область контактов габбродиорит-плагиогранитных интрузивных формаций с вулканогенно-осадочно-карбонатными толщами прогибов	Зона контактов карбонатных и силикатных пород	Системы крупных пласто- и линзоподобных залежей сложных форм и строения	Слошные, вкрапленные или полосчатые относительно богатые скарново-магнетитовые руды, часто с халькопиритом, реже с кобальтином	Железо, медь	Кобальт, мышьяк, фосфор, вольфрам	Соколовско-Сарбайское, гора Магнитная (СССР)
Месторождения геосинклинальных металлоносных фосфоритов	Кремнисто-доломитовая формация фосфоритоносных пород	Протяженные и слоистые структуры осадочных пород	Системы и серии выдержанных пластов	Зернисто-оолитовые фторапатитовые руды с примесью редких и радиоактивных металлов	Фосфор	Торий, уран, молибден, ванадий, скандий, иттрий	Месторождения фосфоритов Скалистых гор (США)

Продолжение таблицы 6.1

1	2	3	4	5	6	7	8
Типы месторождений поздних этапов развития геосинклинальных поясов							
Месторождения геосинклинальных бокситов	Карбонатные формации миогеосинклиналей	Слоистые структуры в основании трансгрессивных серий	Системы пластовых и линзовидных залежей	Бёмитовые и диаспоровые оолитовые руды с содержанием Al_2O_3 -50-60% ? SiO_2 до 10-15%	Алюминий		Месторождения Урала и Южной Франции
Стратиформные месторождения меднистых песчаников	Пестроцветные флишевые формации посторогенных прогибов	Многоритмовые комплексы слоистых пород	Система лентоподобных слоистых залежей	Полосчатые и вкрапленные сульфидные существенно медные руды	Медь	Кобальт, свинец, цинк, никель, серебро	Джезказган; месторождения Замбии
Стратиформные месторождения полиметаллов	Углеродисто-карбонатные формации миогеосинклиналей	Горизонты карбонатных пород в связи с зонами послонных срывов	Системы выдержанных пластоподобных залежей	Вкрапленные и прожилковые существенно сфалерит-галенитовые руды простого состава	Свинец, цинк	Серебро, барит	Миргалимсай
Месторождения углей	Мощные песчано-глинистые угленосные формации миогеосинклиналей	Многоритмовые комплексы слоистых складчатых пород	Серии выдержанных, маломощных угольных пластов	Ископаемые угли различной (преимущественно высокой) степени углефикации	Уголь	-	Месторождения Донецкого, печорского и других бассейнов

Месторождения отличаются исключительным разнообразием минеральных типов и весьма сложным составом руд, с преобладанием в колчеданном подтипе пирита, халькопирита, сфалерита и блеклых руд, а в железо-марганцевом подтипе—барита, окислов и гидроокислов железа и марганца в ассоциации с сульфидами свинца и цинка. Обе субформации встречаются как отдельно, так и в пределах одного рудного поля (Хайрем, Озерное и др.).

Хромит- и асбестоносные гипербазиты являются основными источниками хрома и асбеста в нашей стране. Они также разделяются на два подтипа: хромитовый и хризотил-асбестовый. Оба подтипа связаны с трещинными интрузиями гипербазитовой (дунит-гарцбургитовой) формации, внедрение которых контролируется продольными глубинными разломами. Формирование руд связывается с периодами становления гипербазитовых массивов, в то время как для образования месторождений наложенной хризотил-асбестовой субформации возникновение этих массивов является лишь необходимой предпосылкой,

Титаномагнетитовые месторождения в основных породах габбро-перидотит-дунитовой формации содержат около 10 % запасов и обеспечивают 9 % добычи железных руд СНГ. Руды этих месторождений относятся к числу природно-легированных, отличаются ограниченным числом минеральных типов, но большим разнообразием морфоструктурных разновидностей - от пластоподобных и шлировых скоплений различного масштаба до трубообразных тел или скоплений неопределенной формы с четкими или расплывчатыми границами.

Скарновые медно-кобальтово-железорудные месторождения наиболее широко развиты в геосинклинальных прогибах палеозойского возраста. Как геолого-промышленный тип главное значение в нашей стране имеют магнетитовые скарны, обеспечивающие 9 % запасов богатых железных руд (с постоянными примесями меди, кобальта и золота) и

17 % добычи железных руд.

Месторождения горноскладчатых металлоносных фосфоритов формируются в условиях миогеосинклинальных прогибов на ранних стадиях их развития. Металлические составляющие (ванадий, редкие земли, уран, кобальт и др.) находятся в фосфоритах в рассеянном состоянии, преимущественно в безминеральных формах и могут извлекаться лишь как сопутствующие компоненты.

Месторождения горноскладчатых бокситов могут рассматриваться как геолого-промышленный тип только для нашей страны, поскольку с ними связаны основные запасы высококачественных алюминиевых руд. Они обнаруживают тесную пространственную связь с мелководными карбонатными формациями миогеосинклинальных прогибов при отсутствии в разрезах терригенных осадков. Месторождения располагаются в основаниях трансгрессирующих серий на размытых поверхностях карбонатных пород с признаками карстообразования. В связи с этим многие рудные скопления имеют сложные формы карманов, заливов и гнезд.

Стратиформные месторождения медистых песчаников формируются в посторогенных прогибах складчатых зон в связи с пестроцветными флишевыми, реже молассоидными формациями. С месторождениями этой формации связано более одной трети мировых запасов меди и 70 % запасов кобальта. Доля запасов меди, приходящаяся на месторождения этого типа, в нашей стране достигает 35 %.

Стратиформные полиметаллические месторождения в карбонатных формациях поздних посторогенных прогибов характеризуются простым составом сульфидных руд с преобладанием свинца над цинком. В них сконцентрировано более 30 % запасов полиметаллов как в нашей стране, так и во всем мире. Подобные месторождения известны и в чехлах древних платформ (например, Три-Стейтс в США).

В месторождениях горноскладчатых угольных бассейнов

содержится около половины мировых запасов ископаемых углей. К ним относятся угольные бассейны, расположенные как в эвгеосинклинальных, так и в миогеосинклинальных передовых и внутренних прогибах. Наиболее продуктивны угольные бассейны, расположенные в передовых прогибах на границах между платформами и геосинклиналями. Угленосные толщи в них отличаются километровыми мощностями и ритмичным строением с большим числом угольных пластов, высокой степенью углефикации и метаморфизма - от длиннопламенных до коксовых и антрацитов.

Вмещающие породы вместе с угольными пластами смяты в складки, часто с нарушениями сплошности. Пласты углей сравнительно маломощны, но устойчивы по падению и простираению.

5.3.3 Геолого-промышленные типы месторождений складчатых и активизированных областей

Среди месторождений, сформированных в периоды становления складчатых поясов или в периоды более поздней их тектоно-магматической активизации, выделяются семь важнейших геолого-промышленных типов (таблица 7):

- месторождения золото-кварцевой формации;
- редкометальные пегматито-грейзеновые месторождения;
- стратиформные ртутные и сурьмяные месторождения в джаспероидах или аргиллизитах;
- месторождения медно-молибденовых «порфировых» руд;
- полиформационные молибден-вольфрам-золоторудные месторождения;
- силикатно-касситеритовые и полиформационные оловянные месторождения;

-полиформационные ртутно-золото-серебряные месторождения.

В них сосредоточены основные запасы лития, бериллия, олова, вольфрама, молибдена, флюорита, ртути и сурьмы, значительные запасы меди, золота и урана. В связи с полициклическим развитием большинства складчатых поясов и проявлениями в них процессов тектоно-магматической активизации перечисленные типы месторождений отличаются обилием и исключительным разнообразием формационных, фациальных и минеральных типов. Особенно широко месторождения этих геолого-промышленных типов развиты в складчатых и активизированных складчатых поясах мезозойского и кайнозойского возраста. Многие месторождения залегают несогласно со слоистостью вмещающих пород, проявляют тесные связи с определенными рудометасоматическими формациями, отличаются сложными формами, прерывистым строением и весьма неравномерным размещением полезных компонентов в контурах промышленной минерализации. В результате полихромности и телескопирования процессов рудообразования среди них часто встречаются полиформационные месторождения, в которых рудные ассоциации с признаками различных рудных формаций пространственно совмещены, в связи с чем выделение поли-формационных типов месторождений всегда условно. Закономерности пространственного размещения месторождений в значительной мере определяются рудоконтролирующими интрузивными, вулкано-тектоническими и трещинными структурами.

Геолого-промышленный тип месторождений золото-кварцевой формации объединяет две субформации — древнюю (допалеозойскую) и фанерозойскую. Первая отличается отсутствием четкой зональности оруденения и повышенным содержанием сульфидов в рудах. Мировые запасы золота в месторождениях этого типа не превышают нескольких процентов, а суммарная добыча достигает 12 %.

Таблица 7- Главные геолого-промышленные типы месторождений складчатых и активизированных складчатых поясов

Геолого-промышленный тип (формация)	Рудоносные (и рудовмещающие) формации горных пород	Рудовмещающие структуры	Морфология и строение месторождений	Текстуры и состав полезных ископаемых	Полезные компоненты		Примеры
					главные	сопутствующие	
1	2	3	4	5	6	7	8
Месторождения золото-кварцевой формации	Березитизированные, лиственитизированные и другие вулканогенно-терригенные и терригенные, (флишевые, черносланцевые) формации	Согласные и секущие трещинные структуры, часто в благоприятных горизонтах	Системы секущих и пластовых жил или стратиформных залежей сложного строения	Мелковкрапленные и тонкопрожилковые золото-кварцевые руды с высокопробным золотом	Золото	Мышьяк (?)	Джюно (США) Муранта у (б.СССР)
Рекометалльные пегматито-грейзеновые месторождения	Материнские рудоносные интрузии гранитной формации	Апикальные зоны и контакты гранитных интрузивов; секущие трещинные структуры	Системы жил, жильных зон и штокверковые зоны различной морфологии	Неравномерные прожилковокрапленные и гнездовые кварцкасситеритовые, вольфрамитовые, молибденитовые руды. Вкраплен. Руды	Олово, вольфрам, бериллий, литий, тантал	Ниобий, молибден, цинк, свинец, флюорит, редкие земли, торий	Этта (США)

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8
Стратиформные ртутные и сурьмяные в джаспероидах	Миогеосинклинальные карбонатные и терригенные формации	Литологически благоприятные толщи под экранирующими структурами в связи с трещинной тектоникой	Системы пластоподобных и секущих залежей со сложными очертаниями и прерывистым строением	Вкрапленные, прожилковые и гнездовые киноварные или антимонитовые руды	Ртуть, сурьма	Медь, флюорит	Никитовка, Кадамжай (б.СССР) Альмаден (Испания)
Медно-молибденовые «порфировые» месторождения	Зоны вторичных кварцитов в связи с вулканогенно-интрузивными формациями андезит-трахиандезит-граносиенитового состава	Крупные тектонические зоны или вулканотектонические структуры	Штокверки или минерализованные массивы пород	Вкрапленные и прожилково-вкрапленные сульфидные молибденовые и медные руды	Медь, молибден	Цинк, свинец, висмут	Каджаран, Коунрад (б.СССР) Чучикамата (Чили)
Полиформационные молибден-вольфрам-полиметаллические	Вулканогенно-интрузивная гибридная андезит-диорит-гранодиоритовая магматическая формация	Благоприятные горизонты или типы пород в широких экзконтактовых зонах гранодиоритовых интрузий	Разнообразные по морфологии системы жильных, пластоподобных залежей или штокверки сложного строения	Вкрапленные, прожилковые или гнездовые или гнездовые молибденит-шеелитовые, руды	Молибден, вольфрам, цинк, свинец	Кадмий, индий, селен, медь, мышьяк, висмут	Тырныауз, Лянгар, Алтын-Топкан, Жирекен, Такели (б.СССР)

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8
Силикатно-касситеритовые и полиформационные оловянные месторождения	Многофазные гранитоидные магматические комплексы в породах вулканомолассоидных формаций	Трещинные системы в узлах пересечения крупных нарушений, надкупольные экзоконтакты интрузитов или вулканотектонические структуры	Жильные зоны или штокверки сложного строения	Вкрапленные, полосчатые и брекчиевидные кварц-турмалин-хлорит-касситеритовые руды часто со значительным содержанием сульфидов	Олово	Свинец, цинк, мышьяк	Фестивальное, Депутатское, Юбилейное (б.СССР)
Полиформационные ртутно-золото-серебряные месторождения	Андезит-дацитлипаритовые и липаритовые и липарит-базальтовые вулканогенные, реже молассовые формации	Вулканотектонические и тектонические структуры в вулканогенных породах, контрастных по физико-механическим свойствам	Жильные зоны, системы пластоподобных и трубчатых тел, штокверки и штокверкоподобные зоны сложного строения	Прожилково-вкрапленные и гнездовые золото-серебряные, реже киноварные руды	Золото, серебро, ртуть	Сурьма, вольфрам, мышьяк, селен, свинец	Балей, Карамкен (б.СССР); Сильвер-Сити (США)

Месторождения редкометальной пегматит-грейзеновой формации включают пегматитовую, апогранитовую, собственно грейзеновую и плутоно-вулканогенную субформации со множеством фациальных и минеральных типов в каждой. Среди них важнейшее значение имеют: берилловая в пегматитах и апогранитах, сподуменовая в пегматитах, пироклоровая в апогранитах, кварц-касситеритовая, кварц-вольфрамовая, кварц-вольфрамит-молибденитовая с бериллом в гранитах. В месторождениях этого типа содержатся около 40 % запасов вольфрамовых руд и около 10 % запасов олова. Общей их особенностью является теснейшая связь с интрузивными и субвулканическими породами гранитной формации, которые считаются материнскими. Большинство месторождений этого типа сформировались в верхнем палеозое или в мезозое в апикальных зонах гранитных куполов.

Важнейшее рудолокализирующее значение принадлежит локальным трещинным структурам, а также структурам контактов интрузивных и вмещающих пород.

Стратиформные ртутные и сурьмяные месторождения в джаспероидах и аргиллизитах. Месторождения этого типа характеризуются устойчивыми связями с карбонатными и терригенными (песчаниково-глинистыми) формациями и избирательной приуроченностью оруденения к горизонтам метасоматически измененных пород. В них сосредоточено около 60 % мировых запасов ртути и около одной трети запасов сурьмы.

В медно-молибденовых «порфирировых» месторождениях содержится 60% мировых запасов меди. За их счет обеспечивается около 40 % мировой добычи меди и около 35 % добычи молибдена. В нашей стране на долю этих месторождений приходится лишь немногим больше 10%. Меднопорфирировые месторождения известны в связи как с интрузиями гипабиссального облика (Каджаран), так и с жерловыми фациями вулканогенно-интрузивных пород (Коунрад), что позволяет выделить две соответствующих субформации. Обычно это крупные штокверки с вкрапленным или прожилково-

вкрапленным медным, молибденово-медным и реже молибденовым оруденением. Для медных месторождений большое значение могут иметь процессы гипергенного обогащения руд. В строении и зональности рудных полей, связанных с вулканогенно-интрузивными породами, большую роль играют кольцевые структуры.

Полиформационные молибден-вольфрампалиметаллические месторождения относятся к одному из самых сложных по объему формационных, фациальных и минеральных типов. В них содержится более половины мировых запасов молибдена. Все они пространственно связаны с проявлениями гибридной вулкано-интрузивной андезит-диорит-гранодиоритовой магматической формации, развитие которой обычно завершается антидромной серией даек. Фациальные и минеральные типы исключительно разнообразны. Часто в пределах одного рудного поля или месторождения совмещаются минеральные образования, характерные для различных формационных типов месторождений (скарново-грейзеновые, грейзено-березитовые, березито-гумбеитовые и др.), которые отличаются большим разнообразием условий залегания, морфологии и строения залежей.

Силикатно-касситеритовые и полиформационные оловянные месторождения содержат основные запасы олова и обеспечивают 80 % добычи этого металла в бывшем СССР. В структуре мировых запасов олова доля этих месторождений не превышает 20 %. Помимо месторождений силикатно-касситеритовой формации, к этому типу условно относятся полиформационные месторождения, совмещающие черты силикатно-касситеритовых и сульфидно-касситеритовых оловянных месторождений с комплексным составом руд, а также некоторые месторождения сульфидно-касситеритовой формации. Часто месторождения сульфидно-касситеритового типа располагаются на флангах полиформационных рудных полей и отличаются от остальных месторождений более тесными

пространственными связями с субвулканическими образованиями и тектоно-магматическими структурами.

К геолого-промышленному типу полиформационных ртутно-золото-серебряных месторождений относятся приповерхностные образования континентальных вулканических поясов и областей мезокайнозойской тектоно-магматической активизации. Они отличаются исключительным разнообразием формационных, фациальных и минеральных типов, среди которых главное значение имеют золото-серебряный, золото-киноварный, золото-шеелит-антимонитовый, золото-серебряно-полиметаллический, киноварь-антимонит-ферберитовый и др. Месторождения данного типа перспективны в первую очередь как золоторудные и золото-серебряные.

5.3.4 Геолого-промышленные типы месторождений активизированных платформ

В месторождениях активизированных платформ сконцентрированы практически все запасы алмазов, основные запасы апатита, флогопита, циркония, тантала, ниобия, тория, редких земель, значительные запасы титана, никеля, меди, платины и урана. В балансе запасов капиталистических стран заметное место занимают олово- и вольфрамоносные россыпные месторождения.

В процессе магматической активизации платформ формировались месторождения, связанные с породами платформенных магматических формаций, которые одновременно являются материнскими и рудовмещающими. С разломами складчатого основания связаны пути проникновения материнских интрузий в породы платформного чехла, а блоковой тектоникой платформ определяются условия формирования россыпей, месторождений инфильтрационного или более сложного

происхождения. Эти месторождения тяготеют к районам сопряжения поднимающихся и депрессионных блоково-глыбовых структур, а их формационно-фациальные типы зависят от характера материнских пород в пределах поднятых блоков и от состава платформенных отложений в зонах сопряжения блоковых структур. В пределах активизированных платформ выделяется шесть важнейших геолого-промышленных типов месторождений (таблица 8):

- редкометальные нефелиновые сиениты;
- месторождения карбонатитов;
- сульфидно-медно-никелевые месторождения;
- алмазоносные кимберлиты;
- ураноносные песчаники и угленосные отложения;
- современные и погребенные россыпи.

С месторождениями редкометальных нефелиновых сиенитов связаны скопления апатитов, концентрации циркония, ниобия и редких земель цериевой группы. Условия залегания, морфология и строение месторождений, а также минеральный состав руд определяются в основном магматическими факторами рудоконтроля. Материнские интрузии часто характеризуются многофазностью, а в их состав входят щелочные, нефелиновые и содалит-нефелиновые сиениты, эссекситы, луювриты, йолиты, уртиты и другие щелочные породы.

Таблица 8 - Главные геолого-промышленные типы месторождений активизированных платформ

Геолого-промышленный тип (формация)	Рудоносные (рудовмещающие) формации	Рудовмещающие структуры	Морфология и строение месторождений	Текстуры и состав полезных ископаемых	Полезные компоненты		Примеры
					главные	сопутствующие	
1	2	3	4	5	6	7	8
Редкометалльные нефелиновые сиениты	Платформенная нефелин-сиенитовая магматическая формация	Многофазные интрузивные массивы с элементами кольцевого строения, часто псевдостратифицированные	Пласто-, жилоподобные и линзообразные залежи, наследующие структурные черты вмещающих магматических пород	Вкрапленные лопаритовые, апатитовые, пироклоровые и другие редкометалльные руды	Апатит, ниобий, редкие земли	Тантал, цирконий, графит	Месторождения Кольского полуострова (б.СССР)
Месторождение карбонатитов	Платформенная щелочно-ультраосновная магматическая формация	Многофазные интрузивные массивы центрального типа с отчетливыми кольцевыми структурами	Системы штоков, штокверков или трубообразных тел в пределах материнских интрузивных массивов	Вкрапленные титаномагнетитовые, флогопитовые, пироклоровые, бастензитовые и другие редкомет.	Флогопит, ниобий, редкие земли, апатит	Титан, железо, цирконий, торий, флюорит и р.	Палаборва (ЮАР)

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8
Сульфидные медно-никелевые месторождения	Траповая магматическая формация (интрузии и эффузвы толеит-базальтовой серии)	Придонные части дифференцированных интрузивов основного состава	Серии сближенных пластоподобных, реже жилиподобных залежей	Сплошные и вкрапленные пентландит-пирротиновые руды	Никель, медь	Кобальт	Месторождения Норильского района (б.СССР)
Алмазоносные кимберлиты	Кимберлитовая магматическая формация	Трубчатые тела кимберлитов в платформенных отложениях фанерозоя	Трубообразные тела в пределах кимберлитовых трубок	Вкрапленные алмазоносные кимберлиты	Алмаз	-	Месторождения Сибирской платформы и ЮАР
Ураноносные песчаники и угленосные отложения	Красно- и сероцветные молассоидные или терригенные платформенные формации пестрого фациального состава	Слоистые толщи, пачки и горизонты проницаемых пород, ограниченные водоупорами	Системы стратиформных роллообразных, пластоподобных или линзообразных залежей сложных форм и строения	Тонкорассеянные настурановые или чернивые руды в песчаниках и бурых углях	Уран	Ванадий, селен, медь	Ураноносные песчаники штатов Колорадо и Вайоминг (США)

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7	8
Современные и погребенные россыпи	Формации «материнских» гранитоидов, зелено-каменных и других пород	Участки активизированных платформ по периферии поднятий. Слоистые аллювиальные, дельтовые и прибрежно-морские формации	Системы лентообразных залежей в слоистых (часто косослоистых) отложениях сложного внутреннего строения	Пески с вкрапленностью тяжелых рудных минералов-ильменита, циркона, редкоземельных минералов, золота, платины, алмазов	Титан, цирконий, торий, олово, золото, платина, алмаз	Тантал, ниобий, вольфрам, редкие земли	Современные пляжные россыпи тропического пояса

Месторождения карбонатитов представлены как собственно-магматическими образованиями, так и продуктами их преобразования под воздействием пневматолито-гидротермальных растворов. Фациальные и минеральные типы карбонатитовых месторождений весьма разнообразны. Они включают титаномагнетитовый, магнетит-перовскитовый, бастнезит-паризитовый, пироклоровый, флогопитовый, апатитовый, циркон-бадделеитовый и многие другие переходные типы. С карбонатитами связаны крупнейшие запасы флогопита, вермикулита, ниобия и редких земель цериевой группы.

Сульфидные медно-никелевые месторождения рассматриваются как ликвидационные магматогенные образования, формирующиеся в придонных частях дифференцированных интрузивов основного состава. С ним связано около 20 % мировых запасов никеля, значительные запасы меди, кобальта. В СНГ этот тип месторождений содержит 90 % запасов никеля и более 30 % запасов меди.

Алмазоносные кимберлиты проявляются исключительно в платформенных условиях, причем наиболее широко распространены месторождения мезозойского и кайнозойского возраста. Они являются единственным источником для добычи алмазов как из коренных месторождений, так и из связанных с ними алмазных россыпей.

Ураноносные песчаники и угленосные отложения относятся к одному из самых перспективных геолого-промышленных типов урановых месторождений. Они широко известны на всех континентах преимущественно в отложениях верхних молассоидных и терригенных платформенных формаций. Среди них выделяются фациальные типы собственно ураноносных песчаников, урано-битумных месторождений, медно-ванадиево-урановых месторождений и ураноносных углей. Все они залегают в слоистых, фациально неустойчивых толщах пород и представляют собой стратиформные или роллоподобные образования сложного внутреннего

строения.

Среди современных и погребенных россыпных месторождений активизированных платформ выделяются три субформации, которые различаются по характеру материнских источников, расстояниям сноса и составу продуктивных песков: редкометальные россыпи «ближнего сноса», включающие группу касситерит-колумбит-вольфрамитовых россыпей; золото-платиновые россыпи «дальнего сноса» и ильменит-циркон-рутил-магнетитовые россыпи «крупных бассейнов». В связи с их широким распространением в странах тропического пояса на россыпи этого типа приходится около 65 % запасов и 75 % мировой добычи олова. Современные и погребенные ильменит-циркон-рутил-магнетитовые россыпи содержат основные запасы титановых руд, циркония и тория.

5.3.5 Геолого-промышленные типы месторождений платформ

В пределах молодых и современных платформ сосредоточены практически все месторождения нефти, газа и конденсата минеральных солей, половина запасов ископаемых углей, значительные запасы бокситов и марганца, ограниченные запасы железных и никелевых руд.

Месторождения платформ отличаются пластоподобными, плащеобразными или иными горизонтальными условиями залегания, согласными с элементами слоистости осадочных образований платформенного чехла. Как правило, они обладают крупными размерами, значительно превышающими размеры месторождений, сформированных в иных геотектонических условиях. Среди месторождений платформ выделяются пять главных геолого-промышленных типов (таблица 9):

- латеритные месторождения бокситов, марганца и никеля;
- осадочные месторождения железа и марганца;
- месторождения минеральных солей;

- платформенные угольные месторождения;
- нефтегазоносные месторождения окраин платформ.

На долю месторождений латеритной формации приходится около 90 % запасов бокситов и около 50 % потенциальных запасов никеля, расположенных главным образом в тропическом поясе. Для нашей страны роль месторождений этого геолого-промышленного типа относительно невелика (промышленное значение имеют только древние коры выветривания, содержащие месторождения силикатного никеля и бокситов).

С осадочными месторождениями железа и марганца в чехлах платформ связаны основные запасы марганцевых руд и около 15 % запасов низкосортных железных руд.

Месторождения минеральных солей весьма разнообразны по составу и условиям формирования, среди них различают морские и континентальные формации полного (калиеносного) и неполного (некалиеносного) профилей. В свою очередь среди месторождений калиеносного профиля выделяют хлоридные, хлоридно-сульфатные и сульфатные, а среди некалиеносных — галитовые, галит-ангидритовые, галит-карбонатные, галит-терригенные и гипс-ангидритовые фациальные типы. Все они формируются в специфических геотектонических условиях и в благоприятной литолого-фациальной обстановке.

Не менее разнообразны геолого-промышленные **типы платформенных угольных и нефтегазоносных месторождений**. Среди платформенных угленосных формаций различаются формации древних (палеозойских) и молодых (мезо-кайнозойских) платформ, внутри которых выделяется ряд фациальных типов угленосных бассейнов и месторождений с углями низкой степени метаморфизма.

Таблица 9 - Главные геолого-промышленные типы месторождений платформ

Геолого-промышленный тип (формация)	Рудоносные (и рудовмещающие) формации пород	Рудовмещающие структуры	Морфология и строение месторождений	Текстуры и состав полезных ископаемых	Полезные компоненты		Примеры
					главные	Сопутствующие	
1	2	3	4	5	6	7	8
Латеритные месторождения бокситов, марганца и никеля	Материнские породы с повышенными содержаниями алюминия (сиениты, трахиты), марганца (чарнокиты), никеля (гипербазиты)	Коры выветривания латеритного типа	Плащеобразные, линзоподобные залежи, уплощенные штокверки, системы гнездообразных скоплений	Агрегаты скрытокристаллического сложения и смешанного состава (гиббситовые и гидраргиллитовые, силикатно-никелевые или пиролюзит-псиломелановые руды)	Алюминий, марганец, никель	Железо, кобальт, титан. Ванадий, магнезит	Месторождения бокситов КМА, Орско-Халиловское месторождение силикатного никеля (б.СССР); марганцевое месторождение Нсута (Гана)

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8
Осадочные месторождения железа и марганца (пиролюзит-гидрогетит-лептохлоритовой формации)	Терригенные песчано-кремнисто-глинистые прибрежно-морские формации	Слоистые слабодислоцированные структуры осадочных пород	Системы выдержанных пологозалегающих пластовых или линзообразных залежей	Оолитовые сидерит-шамозит-гематит-лимонитовые или пиролюзит-псиломеланманганитовые руды)	Железо, марганец	Кобальт, никель, ванадий, фосфор	Месторождения Керченского железорудного бассейна, Никопольского марганцевого бассейна
Месторождения минеральных солей галогенно-эвапоритовой формации	Галогенные платформенные формации осадочных пород	Слоистые структуры осадочных пород, часто с признаками «солевой» тектоники	Пластовые и пластообразные залежи сложного строения, штоки и тела сложных форм	Слоистые и полосчатые каменные соли-хлориды и сульфаты калия, натрия, магния	Натревая и калийная соли	Бор, магний	Верхнекамское месторождение
Платформенные угольные месторождения	Платформенные песчано-глинистые угленосные формации	Слоистые, слабодислоцированные толщи осадочных	Пачки изменчивых по простиранию угольных пластов	Ископаемые угли низкой степени углефикации	Уголь	-	Месторождения Подмосковского и Челябинского бассейнов

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6	7	8
Нефтегазоносные месторождения окраин платформ	Терригенно-карбонатные формации платформ	Пористые или трещиноватые породы (коллекторы), куполовидные структуры, литологически или тектонически экранированные структуры	Скопления различной морфологии в природных резервуарах	Скопления нефти и газа в порах и трещинах пород-коллекторов	Нефть, газ, конденсат	Йод, бром	Нефтегазоносные месторождения Западно-Сибирской платформы

Нефтяные и газовые месторождения располагаются в пределах внутренних платформенных впадин, краевых прогибов предгорных впадин) и межгорных впадин. По условиям залегания среди них выделяются пластовые сводовые, пластовые экранированные, массивные и литологически экранированные месторождения. Все они приурочены к проницаемым породам (коллекторам) осадочного чехла и отличаются исключительным разнообразием условий структурного контроля («ловушек»).

Из приведенного краткого обзора видно, что в понятии геолого-промышленного типа месторождения учитываются не только формационная и (радиальная его принадлежность, но и важнейшие технологические, горнотехнические и экономические характеристики. Совокупностью перечисленных признаков определяются не только геолого-промышленный тип месторождения, но и в значительной мере геологические критерии его прогноза и поисков.

Контрольные вопросы

- 1 Что входит в понятие «промышленный тип» месторождения полезного ископаемого?
- 2 Назовите основные геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых.
- 3 Охарактеризуйте геолого-промышленные типы месторождений древних щитов и платформ.
- 4 Охарактеризуйте геолого-промышленные типы месторождений геосинклинальных поясов.
- 5 Охарактеризуйте геолого-промышленные типы месторождений складчатых и активизированных областей.
- 6 Охарактеризуйте геолого-промышленные типы месторождений активизированных платформ.
- 7 Охарактеризуйте промышленные типы месторождений платформ.

6 Общие вопросы минерагении

6.1 Положение минерагении среди частных геологических дисциплин

Минерагения – сложная комплексная наука, синтезирующая достижения многих направлений геологических знаний: то есть объединяет сведения о структуре – веществе, веществе – времени.



До недавнего времени познания закономерностей формирования и размещения в пространстве и во времени месторождений полезных

ископаемых основывалось на специфике их связи с геологическими процессами –эндогенными и экзогенными. Что соответствовало двум основным направлениям: металлогеническому и литогеническому. Этому способствовало интенсивное развитие соответствующих школ рудников и литологов.

В настоящее время становится очевидным, что наряду с месторождениями, образующимися в исключительно эндогенных или экзогенных условиях, существуют и те, в которых участвуют, как те, так и другие обстановки. Примерами могут служить гидротермально-осадочные месторождения. Кроме того, рудные и нерудные месторождения могут возникать совместно как в эндогенных (хромиты, асбест, фосфориты), так и в экзогенных условиях (марганец, сульфиды). Образование их обусловлены совокупностью факторов, свойственных определенным тектоническим режимом эволюции тектоносферы.

В связи с существенными различиями между эндогенными и экзогенными процессами образования месторождений полезных ископаемых ими занимаются обычно различные группы исследователей эндогенного и экзогенного направления, что отразилось на создании двух ветвей металлогении эндогенной и экзогенной минерагении. Вместе с тем, с течением времени все больше обращают внимание на взаимосвязь и взаимодействие этих процессов при формировании месторождения полезных ископаемых вследствие чего размывается и граница между указанными направлениями.

Минерагения в широком понимании этого термина как наука занимается изучением закономерностей формирования и размещения в пространстве и во времени месторождений полезных ископаемых, связанных с эндогенными и экзогенными процессами. Это неразрывно связано с решением практических задач. Важнейшие из них – обнаружения крупных и богатых месторождений различных полезных ископаемых, прежде всего в

экономически благоприятных для освоения и, особенно, в освоенных районах нашей страны.

В настоящее время с учетом представлений, разработанных для металлогении (Щеглов, 1981), целесообразно расширить их за счет объединения металлогении и минерагении в одно направление именуемое в дальнейшем как минерагения.

1. Общая минерагения – создание теоретических основ и разработки общих принципов регионального минерагенического анализа, а также методики составления минерагенических и прогнозных карт; она занимается наиболее крупными теоретическими аспектами проблем рудообразования, его связи с другими геологическими процессами, общими закономерностями металлогенической эволюции и пространственной локализацией месторождений полезных ископаемых. Она в свою очередь включает в себя разделы:

генетическая минерагения, в задачи которой входит моделирование процессов формирования концентраций полезных ископаемых различного масштаба;

геотектоническая (геодинамическая) минерагения, предусматривающая типизацию минерагенических провинций на геодинамической основе;

историческая минерагения, изучающая эволюцию рудообразования в различные интервалы времени, с выделением минерагенических эпох, стадий и этапов.

2. Специальная минерагения сосредотачивает внимание на специфических закономерностях размещения месторождений отдельных полезных ископаемых (например, железа, меди, золота, апатита, вермикулита и др.), образующих концентрации во времени и пространстве в процессе геологической эволюции конкретных регионов структур. Одним из способов познания таких закономерностей является составление поэлементных или

«поминеральных» карт различных масштабов. Генетическое разнообразие месторождений того или иного вида минерального сырья, а также тесные парагенетические связи его с другими элементами или минеральными образованиями, превращают такие карты в минерагенические. Так, молибден в одних типах месторождений ассоциирует с Cu, Au, Ag, в других - с Sn, W, Be, в третьих, с U, V, титано-магнетит в россыпях часто находится вместе с монацитом и цирконом и т.д.

Минерагеническая карта представляет собой синтез всех геологических исследований в регионе и одновременно служит средством для выявления новых закономерностей с основой регионального прогнозирования.

Практическими целями специальных минерагенических исследований являются качественная и количественная прогнозная минерагеническая оценка территорий на выделение перспективных площадей и рекомендации для постановки поисковых работ. Для крупных территорий, соответствующих минерагеническим провинциям, субпровинциям оцениваются так называемый общий минерагенический потенциал, включающий в себя обоснование возможности открытия определенного формационного типа с предлагаемыми масштабами. Для более локальных территорий с достаточно обоснованными перспективами рудоносности по мере детальности их исследований оцениваются прогнозные ресурсы категории P_3 , P_2 , P_1 (Кривцов А.И. Прикладная металлогения М., 1989).

Минерагенические направления как и для металлогении разделяются на региональные исследования масштаба (1:500000 – 1:1000000). локальные (1:200000 – 1:25000). Основная задача трансрегиональных карт – обоснование позиций и строения минерагенических провинций и поясов; последние могут контролироваться системами линеаментов шириной 150 – 200 и протяженностью в тысячи километров.

3. Региональная минерагения исследует конкретные закономерности размещения месторождений полезных ископаемых в пределах крупных

регионов (провинций) и разработке принципов и методики составления минерагенических карт с учетом конкретных особенностей геологического строения и типов проявлений полезных ископаемых рассматриваемой территории. В зависимости от размеров объектов исследований и масштаба составляемых при этом минерагенических карт. Также как и для металлогении можно различать глобальную минерагению, минерагению отдельных континентов или океанов, минерагению провинций (регионов). В зависимости от масштабов видоизменяются и методы исследований.

4. Локальная минерагения – детальное исследование локальных минерализованных площадей (осадочно-породных бассейнов, районов, зон и узлов), выявление закономерностей локализации месторождений на основе составления минерагенических и прогнозных карт (масштаб 1:200000 – 1:25000).

При составлении региональных карт в центре внимания находятся металлогенические зоны и минерагенические провинции. Для геосинклиналей определяющие значение имеют структурно-формационные зоны, а в областях активизации металлогенические зоны имеют наложенный характер по отношению к складкам. При этом они могут быть как линейными косесекущими, так и дугообразными и концентрическими при контроле сводовыми поднятиями. Структурная основа минерагенических карт должна отражать соответствующие рудоконтролирующие структурные формы.

Основная задача локальных минерагенических карт металлогенических карт – выяснение условий локализаций рудных районов, осадочно-породных бассейнов, а также расшифровка их внутреннего строения. Рудные районы представляют собой изометричные рудные площади, располагающиеся на фоне металлогенических зон. Их позиция определяется блоковыми или очаговыми структурами, узлами пересечения линеаментов (секториальные блоки сводовых поднятий, кальдеры, контролирующие позицию рудных

районов). Осадочно-породным бассейнам присущи структуры чехольного комплекса (синклинии, трогии или впадины). Задачи, стоящие при составлении структурных основ локальных минерагенических карт, заключаются в необходимости выделения, прежде всего структур того типа и ранга, которые могут определять позиции рудных районов и осадочно-породных бассейнов.

Типы минерагенических площадей.

А. Для металлических полезных ископаемых.

Металлогенический пояс – самая крупная единица имеет сложную металлогению многих эпох, имеет гетерогенное строение, протяженностью в тысячи километров приуроченная к глобальным тектоническим полям. Например, Тихоокеанский, Ураломонгольский металлогенический пояс.

Мы выделяем единый Урало-Тяньшанский металлогенический пояс, который, совпадая с Урало-Тяньшаньской зоной герцинид и, захватывая Каракумо-Таджикский краевой массив, несет сложную металлогению многих эпох, хотя определяющей является герцинская. Металлогения его отчетливо меняется с запада на восток от Уральской части к Тяньшаньской от собственно фемичного профиля Урала до фемическо-сиалического и сиалического в Тянь-Шане.

Отдельные части (отрезки) металлогенического пояса с резко различной металлогенией, глубокими различиями в строении земной коры и магматизме (Уральский и Тянь-Шаньский регионы) называются металлогеническими провинциями.

Металлогенические провинции – крупные рудоносные территории, специализированные на определенные типы полезных ископаемых, формирование которых обусловлено проявлением на данной площади особого тектонического режима.

В настоящее время при выделении металлогенических провинций большинство исследователей, наряду с типом месторождений, развитых на

той или иной рудоносной территории, и их возрастом пытаются учитывать тектонические особенности развития региона и на этой основе в первую очередь производить оконтуривание крупных рудоносных площадей, в пределах которых развиты рудные месторождения одного металла и генетического типа или нескольких типов и металлов, сформировавшихся или в строго определенный период развития конкретных структур или проявляющихся на разных стадиях их эволюции.

Металлогеническая провинция - наиболее крупные единицы в региональном районировании рудоносных площадей, которые могут выделяться на основе различных принципов, но чаще тектоническом. Наиболее крупными, глобальными металлогеническими подразделениями являются суперпровинции океанов и континентов.

В пределах современных океанов могут быть выделены следующие типы провинций, характеризующихся повышенной тектонической, магматической и металлогенической активностью:

1) провинции срединно-океанических рифтов; здесь формируются сульфидные руды меди, цинка, марганцевые конкреции с никелем, кобальтом, медью, никеленосные перидотиты и другие рудные образования;

2) провинции активных пограничных зон «океан - континент» с андским и азиатско-тихоокеанским подтипом, наиболее продуктивные в отношении как эндогенного, так и экзогенного (россыпи, фосфориты) оруденения;

3) провинции зон трансформных разломов с повышенным содержанием бария, с гидроксидами железа, марганца, сульфидами.

Разделяющие эти активные зоны территории талассократонов характеризуются образованием руд экзогенного и смешанного типов, прежде всего железо-марганцевых конкреций с никелем, кобальтом, медью и др.

На континентах контрастно различаются по металлогении провинции платформ, щитов и складчатых поясов. Каждая из этих групп разделяется на

несколько типов, по разным у различных авторов признакам – по возрасту, количественному соотношению магматических и осадочных образований, преобладающему составу магматитов и, конечно, по особенностям оруденения.

Так, среди платформенных областей по характеру и интенсивности оруденения различаются провинции древних и молодых платформ. С другой стороны, в чехле одних из платформ значительным развитием пользуются магматические образования траппового типа и сопряженное с ними оруденение (Сибирская платформа), в других их роль ограничена (Восточно-Европейская платформа), что отражается на их металлогеническом профиле. В соответствии с этим различают магматический щелочно-мафический и амагматический типы металлогенических провинций платформ.

Сложность геологического строения складчатых областей, связанная, в частности, с полициклическостью развития большинства из них, сильно затрудняет их металлогеническую типизацию и приводит к неоднозначной оценке металлогенического потенциала отдельных провинций.

Большая определенность типизации территории достигается в тех случаях, когда за базовый элемент регионального металлогенического анализа принимается не целиком складчатая область, а структурно обособленная ее часть, характеризующаяся более или менее однородным строением и составом.

Так, в работах западных металлогенистов А. Митчелла, М. Гарсона, Ф. Соукинса отдельно характеризуются ассоциации рудных месторождений, возникшие в различных обстановках дивергентных и конвергентных границ плит и в коллизионных обстановках.

Зарубежные ученые различают понятия провинции металлов и «металлогенические провинции» провинции может охватывать месторождения различного возраста, разных генетических типов, образовавшиеся в некоторых случаях в разных тектонических обстановках.

Стык металлогенических провинций, наблюдаемый в виде сочленения их в узлах пресечения крупных региональных структур (например в г. Султанувайс) носит название **металлогенический узел**.

Под **металлогенической областью** понимается часть металлогенического пояса и провинций с однородным тектоническим режимом (геодинамической обстановкой) с характерным строением земной коры и соответственно специфическим рудно-магматическим (металлогеническим) профилем (Южно-Тяньшаньская, Срединно-Тяньшаньская, Восточно-Уральская, Магнитогорская).

Металлогенические области соответствуют в иерархии геологических тел и структур тектоническим структурам, выделяемым на континентах в пределах подвижных поясов и платформ. Эти тектонические структуры возникли в условиях специфических и часто контрастных геодинамических обстановок развития тектоносферы, обуславливающих возникновение всего комплекса геологических структур и слагающих их вещественных комплексов.

Металлогенические области формируются в результате развития ряда геодинамических обстановок, существующих одновременно, но разобщенных в пространстве. В металлогенических областях подвижных поясов они оказываются «сгущенными» в результате завершения геодинамического цикла.

Металлогеническая зона представляет собой структурно обособленную часть металлогенической провинции. Она характеризуется распространением закономерного ряда геологических (породных и рудных) формаций, возникшего на определенной стадии развития земной коры (структурно-формационного комплекса). Коллективом ВСЕГЕИ под редакцией Д.В.Рундквиста выделено более 80 типов характеризующихся специфическими структурными и вещественными признаками зон, формировавшихся в различных геодинамических обстановках.

По первичной природе породных комплексов и соответствующей ей структуре породных геологических тел различаются зоны согласных стратифицированных и секущих плутоногенных комплексов, разделяемые по составу преобладающих в последних пород, определяющему их формационную принадлежность.

Вторичными являются структурно-металлогенические зоны метаморфических комплексов и кор выветривания.

Комбинации разнотипных зон в различных по тектоническому режиму развития конкретных провинциях обуславливают металлогеническую специфику последних с характерным для каждой из них региональным структурно-формационным суперкомплексом.

Таким образом, это геологическая структура со специфическим режимом геотектоники, осадконакопления и магматизма, характерным рудно-петрографическим профилем и своими особенностями распределения рудных концентраций (линейное, узловое и т.п.). В пределах зоны рудоносные участки (узлы, поля) обычно чередуются с безрудными пространствами. Характер распределения узлов и полей в зависимости от типа зоны может быть каркасно-узловым, линейным и т.д. Протяженность металлогенических зон измеряется сотнями и тысячами километров. Они могут быть линейными (в складчатых структурах), так и относительно изометричным (в платформенных), «моно-, или полиэтажными» в остальных случаях полициклическими; конкордантными и дискордантными.

Рудный пояс – линейно вытянутый, длиной до сотен километров участок с характерным рудномагматическим профилем, отвечающим преимущественно единому этапу тектонического (металлогенического) цикла. Часто трассирует зоны глубинных разломов, повышенной проницаемости, краевые и секущие системы активизации и т.д. (каледонская, герцинская, мезозойская).

Рудная зона – относительно небольшой, преимущественно линейно вытянутый участок земной коры внутри металлогенических зон, характеризующийся повышенной рудонасыщенностью в связи с благоприятным сочетанием рудоконтролирующих факторов (зон разломов, рудоносных магматических комплексов, благоприятных стратиграфических и литологических горизонтов).

Рудный узел – часть рудной зоны с особенно высокой концентрацией руд промышленного или потенциально-промышленного типа.

Рудный район – пространственная единица, отвечающая тектоническому району.

Для неметаллических и горючих полезных ископаемых

По приуроченности к определенным тектоническим элементам земной коры, объему осадочного выполнения, потенциальным ресурсам, структурно-формационному составу, закономерностям размещения **залежей углеводородов** по площади и разрезу за основные подразделения приняты нефтегазоносные мегапровинции, провинции, области и районы (на примере России и сопредельных стран).

Мегапровинция отличается обширными размерами по площади и объему осадочного выполнения, охватывает целиком платформу или значительную часть с прилегающими к ней перекратонными частями и краевыми прогибами. Она включает в себя, как правило несколько принципиально близких по набору формаций и возрасту основных продуктивных комплексов, провинций или одну провинцию с гигантскими возможностями генераций и аккумуляции УВ. Обладает очень крупными потенциальными ресурсами УВ.

Нефтегазоносная провинция (НГП) – значительная по размерам и осадочному выполнению обособленная территория, приуроченная к одному или группе смежных крупных тектонических элементов (синеклиза, антеклиза, авлакоген, внутриспиклиальная впадина и т.д.), обладающих

сходными частями геологического строения и развития, общностью стратиграфического диапазона нефтегазоносности, близкими геохимическими литолого-фациальными и гидрогеологическими условиями, а также большими возможностями генерации и аккумуляции УВ.

Нефтегазоносная область (НГО), являющаяся частью нефтегазоносной провинции или самостоятельной единицы, приурочена, как правило, к одному или нескольким крупным тектоническим элементам (краевой прогиб, свод, ступень, мегавал, впадина, зона поднятий или прогибов, в том числе подпадвиговых и т.д.), обладающим сходным геологическим строением и историей развития, повсеместным распространением основных нефтегазоносных комплексов, значительными возможностями генерации и аккумуляции углеводородов.

Нефтегазоносный район (НГР) является частью нефтегазоносной области или самостоятельным подразделением. Эта территория расположена, как правило, в пределах одного или нескольких средних по размерам тектонических элементов (выступ, свод, вал, куполовидное поднятие, прогиб) или их частей.

Выявленные месторождения характеризуются общими продуктивными горизонтами, близкими глубинами их залегания, сходными типами месторождений с одинаковыми фазовым состоянием месторождений.

Определенную специфику геологических обстановок имеют и территории скоплений твердых горючих ископаемых. Так, угленосная провинция – обширная сплошная или прерывистая площадь, обладающая в один и тот же возрастной этап угленакопления основным сходством физико-географических условий при образовании углей и вмещающих их толщ, сходством стратиграфических соотношений и направленности изменения метаморфизма заключенных в этих толщах углей. Это сходство обусловлено соответствующими тектоническими регионами развития участков земной

коры во время происходящего на них осадко - торфонакопления и особенности их структурного накопления.

6.2 Мегапровинции, провинции и субпровинции платформенных областей

В пределах бывшего СССР выделяются две древние минерагенические мегапровинции – Русской и Сибирской платформ и две молодые – Скифско-Туранская и Западно-Сибирская.

Мегапровинция Русской платформы охватывает европейскую часть СССР, на Западе выходит за пределы страны в ПНР и Финляндию. На юго-западе ограничена Карпатами и Скифской плитой, на востоке – Уральской мегапровинцией, на севере – акваториями северных морей. Включает ряд провинций, в том числе две провинции, приуроченные к выходам кристаллического фундамента (Карело-Кольская, Украинская). Наиболее крупные провинции приурочены к синеклизам (Московская, Прибалтийская), а наиболее интересные в металлогеническом отношении к авлакогенам (Припятско-Донецкая).

Наличие фундамента и чехла делает мегапровинцию весьма неоднородной. Для фундамента характерен сидерофильный и литофильный, частично халькофильный геохимический фон с месторождениями железа, никеля, меди, кобальта платины, графита. В образованиях чехла преобладают лито- и галофильный геохимические комплексы. Развиты месторождения угля и нефти, фосфоритов, солей, янтаря. С магматизмом связаны месторождения железа, титана, редких металлов, редких земель, апатита, флогопита, высокоглиноземистого сырья, россыпи титановых минералов. Процессы активизации проявлены очень слабо в пределах Донбасса (ртуть) и Северного Кавказа и значительно более интенсивно на щитах.

Мегапровинция Сибирской платформы охватывает Сибирскую платформу с ее щитами Алданским и Анабарским. Ограничена на севере акваториями северных морей, на востоке Верхоянской и Сетте-Добанской складчатыми системами, на юге Центральноазиатскими и Монголо-Сихотэ-Алиньским подвижными поясами, на западе Западно-Сибирской мегапровинцией. Фундамент мегапровинции имеет преимущественно литофильную характеристику, несет оруденение железа, фосфора, бора, флогопита, горного хрусталя в Алданской провинции. Анабарская провинция изучена недостаточно.

В пределах чехла ряд провинций приурочены к синеклизам (Тунгусская, Вилюйская, Ангаро-Ленская), авлакогенам (Вилюйская, Приенисейская). Особенностью мегапровинции является Тунгусская провинция, приуроченная к крупнейшему в мире полю развития траппов суммарным объемом 1 млн. км³. С траппами связано оруденение меди, никеля, кобальта, платины, железа, свинца, цинка, исландского шпата, графита с породами щелочно-ультраосновной ассоциации – железа, титана, редких земель, платины, флогопита, алмазов, хрома. С осадочными породами чехла связаны месторождения угля, нефти, солей, железа, фосфоритов.

Западносибирская мегапровинция ограничена на востоке Сибирской платформой на юге складчатыми сооружениями Саян, Алтая и Казахстана, на западе Уралом, на севере акваториями северных морей. Фундамент мегапровинции сложен разновозрастными (байкальскими, каледонскими, герцинскими) складчатыми структурами и частично – опущенными в мезозое участками Восточно-Сибирской платформы. Мегапровинция состоит из трех провинций – Зауральской, Юго-Восточной и Центральной. Основной металлогенический багаж несут первые две провинции, что обусловлено интенсивным поступлением рудного материала с окружающих горных областей в юре, мелу и палеогене. Триас и ранняя юра характеризуются

континентальными палеогеографическими условиями, образованием угленосных толщ на широких площадях.

Основной металлогенический потенциал мегапровинции – железные руды в Зауральской и Юго-Восточной провинциях. Руды оолитовые, бедные и труднообогатимые, ресурсы колоссальные (особенно в Юго-Восточной провинции) и оцениваются в 300 млрд. т руды. Кроме железа, известны месторождения марганца и бокситов, а также титаноносные россыпи. В целом мегапровинция лито-сидерофильная. Центральная провинция содержит богатые ресурсы нефти и газа.

Скифско-Туранская мегапровинция включает Скифскую и Туранскую молодые плиты.

Скифская плита расположена на юге Русской платформы; начиная с юры является ее частью. Фундамент плиты сложен складчатыми сооружениями герцинского возраста, которые протягиваются вдоль северной оконечности Каспийского моря и окаймляют с юга Украинский кристаллический щит. Здесь располагаются крупные впадины – Причерноморская, Индоло-Кубанская, а также Ставропольское поднятие и кряж Карпинского на продолжении Донецкого кряжа. С юга плита ограничена складчатыми сооружениями Кавказа и Крыма.

В металлогеническом отношении это единая провинция литофильного профиля, характеризующаяся наличием месторождений нефти и газа в мезозойских и титаноносных россыпях в кайнозойских отложениях. Фундамент ее не обнажается, расположен глубоко и металлогения его не изучена.

Туранская плита является продолжением Скифской к востоку – от Каспийского моря. В тектоническом отношении она аналогична Скифской, но значительно больше и сложнее последней. Туранская плита ограничена на востоке складчатыми сооружениями Средней Азии и Казахстана. На севере

плита граничит с Тургаем и Уралом, на юге – со Средиземноморским поясом (Копетдаг).

В целом это лито-халькофильная область. Фундамент ее обнажается лишь небольшими участками, например на Мангышлаке, и металлогенического значения практически не имеет.

Мегапровинции платформ разделяются на провинции двух групп: провинции, в которых главная минерализация связана с процессами формирования и преобразования складчатого фундамента, и провинции с глубоко погребенным фундаментом и минерализацией, связанной с породами чехла (плитными комплексами).

Выделение минерагенических провинций и субпровинций древних щитов, представляющих собой выступы кристаллического фундамента в пределах мегапровинций платформ, опирается на сложившиеся представления о специфических структурно-вещественных особенностях каждого из таких выступов. Эти особенности отвечают необратимой эволюции тектоно-метаморфических и тектоно-магматических циклов в докембрии, а также степени и характеру переработки сформированных комплексов активизационными процессами.

Накопившийся в последние десятилетия обширный материал по изотопному датированию рудоносных докембрийских комплексов обусловил возможность сопоставления отдельных субпровинций при минерагеническом районировании территории щитов и возможность выявления общих черт в рудной специализации пространственно разобщенных специфических геоструктур, сформированных на самых ранних этапах развития земной коры.

На территории бывшего СССР выделяются четыре провинции докембрийских щитов: Карело-Кольская и Украинская (с примыкающими Белорусским и Воронежским массивами) в пределах Русской платформы, Анабарская и Алданская в пределах Сибирской платформы. Всего для

территории бывшего СССР выделено 11 минерагенических субпровинций, относящихся к двум основным типам докембрийских провинций:

1) сложенных главным образом метаморфическими (нереконструируемыми по происхождению субстрата), а также ультраметаморфическими и магматическими комплексами раннего архея и катархея, активизированными в сфекофеннский цикл и более поздние тектоно-магматические циклы;

2) сложенных рудоносными комплексами в различной степени метаморфизованных осадочно-вулканогенных, интрузивных и ультраметаморфических образований «зеленокаменных» поясов (гранит-зеленокаменных областей) позднего архея, протогеосинклинальных поясов протерозоя с выступами метаморфического основания, частью активизированных в палеозое и мезозое.

К первому типу относятся Беломорско-Кольская железо-никель-апатитоносная, Волыно-Подольская титан-железорудная графитоносная, Приазовская железорудная графитоносная, Белорусская титан-железорудная, Воронежская никеленосная и Центральноалданская полиметальная субпровинции, а также Анабарская апатит-редкоземельно-железорудная провинция (нерасчлененная на субпровинции). Важнейшие минерагенические зоны этих субпровинций определяются для докембрийских комплексов развитием железорудной эвлизитовой и графитовой гнейсовой формации в «гранулит-зеленокаменных» поясах, сложенных метаморфическими комплексами умеренных и низких давлений, к которым в субпровинциях, затронутых протерозойским рифтогенезом (Беломорско-Кольская, Воронежская) добавляются сульфидные медно-никелевые месторождения. Характерным является также наличие кианитовой и силлиманитовой высокоглиноземистых рудных формаций. В связи с последней в зонах позднепротерозойской активизации, фиксируемой проявлением метаморфизма повышенных давлений, проявляются

слюдоносные и керамические пегматиты (Беломорско-Кольская и Волюно-Подольская субпровинции). В Алданской и Анабарской провинциях развиты месторождения апатит-магнетит-флогопитовой скарноидной формации; в Центральноалданской субпровинции существенную роль играют месторождения гранулированного кварца и горного хрусталя, докембрийский возраст которых дискусионен. Последующие, главным образом, палеозойские и мезозойские процессы активизации существенно усложняют минерагенический облик субпровинций этой группы за счет появления в рифтогенных структурах и зонах глубинных разломов месторождений апатит-редкометалльно-железородной и апатит-нефелин-редкометалльной рудных формаций (Беломорско-Кольская субпровинция, в редуцированном варианте Анабарская провинция), а также золото-сульфидной формации, золото-содержащих россыпей, месторождений каменного угля (Центральноалданская субпровинция).

Ко второму типу относятся Карельская колчеданно-железородная, Криворожско-Приднепровская и Курская железородные, а также Олекмо-Становая медно-титан-железородная субпровинции. Их специализация определяется в первую очередь развитием стратиформных железисто-кремнистых рудных формаций, из которых меньшая по масштабам оруденения железородная амфиболит-гнейсовая формация (Костомукша, Белозеро, Чаро-Токкинская группа месторождений) распространена повсеместно, а наиболее продуктивная формация железистых кварцитов и сочлененное с ней оруденение формации мартитовых кор выветривания определяют облик Криворожско-Приднепровской и Курской субпровинции. Колчеданное оруденение также характерно для позднеархейских комплексов в субпровинциях этой группы, однако сравнительно с однотипными по строению провинциями Канадского и Австралийского щитов резко редуцировано. Определенная специфичность минерагенического облика Олекмо-Становой субпровинции обусловлена широким проявлением

высокоглиноземистой и титан-железородной формаций, связанных с габбро-анортозитовыми комплексами архея, развитием медистых песчаников (Удокан) в специфических орогенно-рифтогенных структурах протерозоя, а также интенсивным проявлением фанерозойской активизации.

Минерагения плитных (чехольных) комплексов мегапровинций платформ, как и методика их районирования, характеризуются существенными особенностями, обусловленными рядом тектонических, эволюционных и структурно-вещественных факторов.

Чехольные комплексы, оставаясь горизонтальными, наращивают общий разрез от этапа к этапу, создавая сложную вертикальную зональность. Для древних платформ выделяются восемь этапов развития, для молодых – три, что еще более затрудняет районирование чехлов. На схеме районирования провинции выделены по современному строению платформ.

Минерализация чехлов связана с различными толщами и формациями осадочных, магматических пород и кор выветривания. С учетом продуктивности разрезов чехла выделяются четыре типа провинций – терригенный, терригенно-карбонатный, эвапоритовый и осадочно-вулканогенный. Каждый из этих типов имеет разновидности и взаимные переходы в зависимости от процессов, накладывающихся на чехольные комплексы после их формирования. Такими процессами, прежде всего, являются процессы активизации, охватывающие собственно платформу и сопредельные области.

Провинции терригенного типа объединяются общностью состава кластических формаций и минерагенической специализацией: наличием углей, бокситов, марганца, железа, фосфоритов, россыпей титаноносных минералов. Наиболее представительными являются месторождения углей Подмосковского бассейна и Зауралья, марганца Никопольского бассейна, бокситы Тихвинских и Онежских месторождений и др.

Отметим некоторые особенности отдельных провинций. Таймырская провинция в равной степени может быть отнесена к терригенному или осадочно-вулканогенному типам, так как в раннем триасе в ее пределах энергично проявился трапповый магматизм. Но главной особенностью провинции являются процессы мезозойской активизации, обусловившие проявление полиметаллического и ртутного оруденения.

В пределах Московской, Вилуйской, Предтаймырской провинции в нижних ярусах чехлов присутствуют эвапоритовые комплексы, а в Московской, кроме того, - карбонатный комплекс (C₂₋₃). Однако наиболее важная минерализация связана с терригенными формациями.

Терригенно-карбонатный тип провинций распространен значительно реже. Минерагения этого типа отличается пестротой состава рудных формаций. Собственно с карбонатными формациями связан ограниченный круг полезных ископаемых – фосфориты и горючие сланцы Прибалтики, свинец и цинк Анабарской и Алданской антеклиз, целестин Туранской плиты. Значительно большее значение имеет оруденение, связанное с магматическими формациями эпох активизации – алмазы, титан, железо, редкие металлы и редкие земли, флогопит, вермикулит, апатит (Котуй-Оленекская провинция). За исключением алмазов, все указанные полезные ископаемые приурочены к Маймеча-Котуйскому, Ессейскому и Уджинскому районам.

Среди экзотических ископаемых этого типа провинций следует отметить мирабилит Туранской провинции, залежи которого образуются в заливе Кара-Богаз-Гол в настоящее время.

К эвапоритовому типу отнесены три минерагенические провинции и одна субпровинция. Их характерной особенностью является развитие в значительных количествах эвапоритовых формаций и в них солей калия, натрия, магния, иногда бора, а также наличие нефти и газа. В Ангаро-Ленской провинции существенную роль играют месторождения железа,

связанные с трапповым магматизмом, в Калининградской – палеогеновые месторождения янтаря.

Эвапоритовые комплексы в подчиненном объеме развиты в составе провинций других типов. Например, Приенисейская провинция осадочно-вулканогенного типа в составе погребенного девонского авлакогена содержит мощные толщи гипсов и каменной соли. Этот солеродный бассейн изучен очень слабо, не исключена возможность наличия здесь и калийных солей.

Широкое развитие эвапоритовые комплексы имеют в перикратонных и краевых прогибах пограничных систем, в провинциях и субпровинциях Копетдагской, Предкарпатской, Предуральской, Предкавказской. Везде имеются мощные залежи каменных или калийных солей, локализованные в таких месторождениях как Соликамское, Теревлинское, Шедокское и др., известные как крупные базы химической и пищевой промышленности, а также нефтегазоносные бассейны.

Осадочно-вулканогенный тип провинций характеризуется развитием магматических (трапповых) и связанных с ними рудных формаций. В Тиманской провинции базальты являлись субстратом для образования бокситов. С базальтами Тунгусской провинции по аналогии с районом Верхнего Озера прогнозируются месторождения самородной меди, проявления которой известны на севере плато Путорана.

Наиболее крупными месторождениями осадочно-вулканогенных провинций являются Норильское и Талнахское медно-никелевые, месторождения исландского шпата, Курейское и Ногинское месторождения «амфорного» графита, а также огромный по запасам углей Тунгусский бассейн.

6.3 Месторождения, образовавшиеся в континентальных горячих точках, рифтах и авлакогенах

Горячие точки образуются в результате термальных процессов в астеносфере, в то время как рифты явно связаны с зарождающимися границами плит. Принято считать, что цикл тектонического развития начинается рифтовой стадией, за которой следует спрединг океанического дна, субдукция, столкновение континентов и новый рифтогenez.

Внутриконтинентальные горячие точки и следы горячих точек

Концепция горячих точек в верхней мантии, фиксированных относительно оси вращения Земли и, следовательно, перемещающейся вышележащей литосферы, были сформулированы Уилсоном. Он предположил, что линейные цепи островов в океане представляют собой следы, оставленные в литосфере горячими точками верхней мантии. Впоследствии Морган (1972) показал, что горячие точки представляют собой области подъема струй мантийного вещества. Поверхностные проявления горячих точек, находящихся под континентальными плитами, рассматривались главным образом на примере Африки. Барк и Дьюн (1974) считали, что в пределах сводовых поднятий, характеризующихся повышенным тепловым потоком и располагающихся над горячими точками, образуются рифты. Берк и Уилсон (1976) доказывали, что магма, образуемая в мантийных струях, способна проникать через континентальную кору только при условии, что литосфера более или менее неподвижна относительно нижележащей мантии. Места предполагаемых горячих точек фиксируются проявлениями вулканогенных и интрузивных пород. Под Африканским континентом, как известно, установлено 36 мантийных струй [5]. Под каждой из них располагается либо горячая точка, с которой связан активный вулканизм, либо высокая точка, т.е. куполообразное поднятие континентальной коры, в пределах которой нет вулканических проявлений.

Для горячих точек характерны щелочной магматизм и хорошо развитые кольцевые структуры. Вулканогенные породы имеют в основном риолитовый, значительно реже трахитовый состав, а в некоторых случаях представлены базальтами. Интрузивные породы широко распространены, причем наиболее часто встречаются карбонатиты, агапитовые граниты, щелочные породы, бедные кремнеземом, и плюмазитовые граниты. Отношение $87\text{sr}/86\text{sr}$ в этих породах очень различно. При этом базальты и некоторые интрузивные породы обеднены 87sr , что указывает на их мантийное происхождение. Граниты наоборот, обогащены 87sr , а это характерный признак анатексиса пород коры или, возможно, зонной очистки поднимающихся мантийных расплавов.

Внутриконтинентальные рифты и авлакогены

По условиям возникновения выделяются два типа рифтов: связанные с горячими точками и образующиеся при столкновении континентов.

Трехлучевые рифтовые системы, неразвившиеся ветви рифтов и полуграбены

В восточной рифтовой системе Восточной Африки внутриконтинентальные рифты Северной и Южной Грегори образуют тройное сочленение с рифтом Кавирондо, а в Афаре внутриконтинентальный Эфиопский рифт соединяется с Красным морем и Адениским заливом, дно которых подстилается океанической корой.

Берк и Дьюи (1984) предположили, что Эфиопский рифт и все остальные подобные структуры, пересекающие границу континента под углами, близкими к прямому, представляют собой неразвившиеся ветви "Трехлучевых" внутриконтинентальных рифтовых систем. Первоначально каждая из них состояла из трех ветвей, причем две из них впоследствии превратились в океанические бассейны, а третья стала пассивной, прежде чем в своем развитии достигла стадии спрединга океанического дна.

Берк и Дьюи (1984) и др. полагают, что рифт развивается на континентальной коре над горячими точками, вероятно связанными с мантийными струями (Mouges J.G и др., 1974) и в своем развитии проходят несколько стадий. После образования куполовидного поднятия коры над мантийной струей возникают три, реже большее количество рифтов, расходящихся по радиусам от центра поднятия. Вслед за этим в двух рифтах происходит внедрение базальтовых даек, а затем начинается спрединг океанического дна. Что же касается третьего рифта, ориентированного к берегу раскрывающегося океана под большим углом, то он либо становится пассивным, либо превращается в проницаемый трансформный разлом, как, например, рифт Красного моря. Развивающиеся рифты соединяются с такими же рифтами над соседними горячими точками; при этом образуется сплошная сеть развивающихся рифтовых систем.

В настоящее время считается, что многие рифты фанерозойского и протерозойского возраста начинали свое развитие как трехлучевые системы.

Неразвившиеся ветви отдельных рифтов часто подвергаются омоложению и активизации. Ярким примером могут служить южные рифты Восточной Африки, заложившихся в мезозойское время при расколе Гондваны, задолго до начала продолжающегося и ныне неогенового рифтогенеза. Предполагается, что прогибание, ограниченное на ранних стадиях развития неразвившегося рифта сравнительно узкой рифтовой зоной, на более поздних этапах сменяется формированием обширного прогиба, который включает и сами рифты.

В качестве примера может служить образование в конце палеоцена Северного моря на месте существовавшей здесь ранее системы грабенов.

Авлакогены. Шатский первым выделил в качестве своеобразных геологических структур удлиненные внутриплатформенные трюги, или грабены, ограниченные на одном своем конце складчатым поясом. При описании подобных структур к западу от Урала на Восточно-Европейской

платформе и трога в южной Оклахоме, США, он применил термин "авлакоген". Значительно позже авлакогены были установлены и в других районах Северной Америки (авлакоген Атапуску в восточной части Большого Невольничьего озера).

Почти все рудные месторождения, связанные с горячими точками, залегают среди щелочных интрузивных и эффузивных пород, а также плюмазитовых гранитов вблизи них.

Месторождения полезных ископаемых

1. Оловянные и урановые руды, связанные с неорогенным гранитами горячих точек Африки.

По данным Берка и Дьюи (1973) они образовались над мантийными струями до заложения внутриконтинентальных рифтов.

Рудоносные юрские граниты на плато Джос, расположенных к западу от протягивающегося в северо-восточном направлении прогиба Бенуа (Нигерия), образуют самую южную часть прерывистой цепи кольцевых структур (протяженностью 1300 км, шириной 200 км), в пределах которой отмечаются 40 кольцевых структур диаметром в 25 км. Этот меридианальный пояс включает также гранитоидные комплексы каменноугольного (в южных районах Нигера), среднепалеозойского (северного Нигера) возраста. С гранитами юры связана касситеритовая минерализация. Они сложены с агпаитовыми альбит-рибекитовыми разностями гранитов и субщелочными гастингсингитовыми и биотитовыми гранитами. Причем последние образуют как концентрические интрузивные тела, так и штоки или купола. Граниты прорывают докембрийские метаморфические и магматические породы.

Оловянная минерализация связана с биотитовыми гранитами, в результате эрозии которых образовались важные в экономическом отношении аллювиальные россыпи.

Формирование оруденения в биотитовых гранитах происходило в два этапа: ранний постмагматический, когда образовалась рассеянная

минерализация колумбита, ксенотима, торита и касситерита, и поздний - жильный этап, в течение которого образовались грейзены с касситеритом, сфалеритом, халькопиритом, галенитом и пиритом.

Образование месторождений произошло в результате выноса металлов из более древних глубинных минерализованных пород и последующего их переотложения. Бауден и др. (1976) полагают, что кольцевые комплексы Нигера и Нигерии могли образоваться в тот период, когда африканский континент был более или менее неподвижным относительно нижележащего источника тепла, а постепенное омоложение возраста интрузивных комплексов в направлении на юг свидетельствует о перемещении Африки на север относительно подлитосферной мантии, которое происходило со среднего палеозоя до юры.

Вследствие движения плиты центр кальцевого комплекса отодвигается от источника мантийной магмы, что приводит к образованию изолированной магматической системы, которая не подвергается посткальдерному возрождению и способствует образованию претерпевших длительную эволюцию гранитов в глубинных зонах коры.

К этому же типу оруденения (в горячих точках) относятся месторождения олова в районе Рокдония, Бразилия и урановое оруденение типа Бокан-Маунтин (юго-восток Аляски) и Роджерс (на востоке США).

2. Месторождения апатита, магнетита, вермикулита и пирохлора, ассоциирующиеся с карбонатитами горячих точек и связанные со щелочными и ультраосновными породами.

Щелочная провинция Кальского полуострова и северной Карелии. В этом районе устанавливаются все признаки наличия горячей точки. Щелочной магматизм здесь развивался в течение продолжительного времени; породы Ковдорского ультрабазит-карбонатитового комплекса имеют возраст 610 млн. лет, а возраст даек щелочных пород и карбонатитов в районе - 270 млн. лет. Это подтверждает выдвинутое Сакинсом (1976)

предположение, о том, что горячие точки инициируют магматическую деятельность, продолжающуюся в течение длительного времени. Центр предполагаемого тройного сочленения разломов располагается примерно в районе Хибинского (40x35 км) и Ловозерского (30x20 км) массивов, а две ветви разломов, простирающиеся в северо-западном направлении, подчеркиваются широко развитыми дайками основных и ультраосновных пород. В пределах полосы юго-западного простираения, рассматриваемой как неразвившийся каледонский рифт, устанавливаются крупные рои даек пород основного и ультраосновного состава, а также карбонатиты, в том числе Озерная Варака, Африканда, Ковдозеро, Вуяриярви и Салантава [7]. Беляев и Уядов (1978) показали, что магматические центры, массивы щелочных, основных и ультраосновных пород и карбонатитов, а также системы дуговых и сопряженных с ними радиальных даек и разломов приурочены к куполовидному поднятию диаметром 450 км. С центром в районе Хибинского массива по площади это поднятие равно Гавайской горячей точке.

Минерализация Кольской горячей точки ассоциируется с Хибинским массивом, сложенным нефелиновыми сиснитами и ийолитами, а также с ультрабазит-карбонатитовыми и карбонатитовыми образованиями. В Хибинах запасы фторапатита оцениваются в 2700 млн. т., при среднем содержании P_2O_5 18%, ежегодная добыча апатита на четырех крупных рудинках составляет 15 млн.т.

Ковдорский комплекс щелочных ультраосновных пород с небольшими дайками и жилами карбонатитов является типичным представителем кольцевых интрузий Кальского полуострова, контролирующихся в большинстве случаев пересечениями радиальных и дуговых разломов, заложившихся при образовании поднятия над восходящей мантийной струей. Запасы железных и апатитовых руд здесь составляют соответственно 700 и 110 млн.т, месторождение разрабатывается открытым способом и ежегодно

здесь добывается почти 1 млн.т апатитового концентрата. Баделеит ZrO_2 на этом месторождении добывается попутно, а вермикулит, содержащийся в оливинитах, разрабатывается отдельно.

6.4 Месторождения полезных ископаемых магматических дуг

По числу месторождений полезных ископаемых, которые приходятся на единицу площади, магматические дуги превосходят любые другие районы, находящиеся в иной тектонической позиции. Среди всех типов месторождений наибольшими запасами извлекаемого металла обладают меднопорфировые, также важное значение имеют подводные эксгальционно-осадочные месторождения цветных металлов и золота, а также оловянная минерализация.

Меднопорфировые месторождения. По промышленным запасам извлекаемого металла превышают все остальные вместе взятые типы месторождений этих областей. Меднопорфировые месторождения обеспечивают 2/3 производства меди и содержат небольшие, но экономически важные запасы золота и молибдена. На месторождениях, эксплуатация которых экономически целесообразна, крупные и очень крупные рудные тела разрабатываются открытым способом. Содержание меди в рудах колеблется от 0,25 до более, чем 1%; медная минерализация образует рассеянную вкрапленность в порфировых известково-щелочных породах интрузивных и субвулканических тел, состав которых изменяется от диоритов до кварцевых моноцитов и адамеллитов.

Месторождения окраинно-континентальных дуг. Более половины всех известных меднопорфировых месторождений мира приурочены к двум обращенным на запад окраинно-континентальным системам дуг. Речь идет об Андах, где субдукция продолжается и по сей день, а также о преимущественно неактивных позднемезозойских и кайнозойских

магматических дугах на западе Береговых хребтов в Северной Америке. Раннекайнозойские и более древние месторождения в областях окраинно-континентальных дуг, уже переживших столкновение с континентом, известны, например, в Иране и Тибете (поздний мезозой - ранний кайнозой), на Малом Кавказе (мезозой и поздний кайнозой), а Аппалачах и в западных районах Тянь-Шаня (палеозой).

Рудовмещающими породами являются гранитоиды или кварцевые моноциты, обычно слагающие штоки небольших размеров или субвулканические тела, которые в момент рудообразования залегали чаще всего на глубинах 2 км, а в некоторых случаях – до 4 км.

Контакты этих тел с доинтрузивными вмещающими породами обычно резкие, характеризуются небольшими структурными нарушениями, а многочисленные дайки и силлы часто проникают за пределы штоков. Выделяются пять форм залегания интрузивных пород, с которыми в Мексике связана минерализация порфиривого типа. Эта классификация может использоваться и для других окраинно-континентальных магматических дуг. Шток минерализованных пород обычно залегает в пределах крупного более древнего интрузива (который по своим размерам иногда напоминает батолит) или над ним. Последний сложен породами, вероятно генетически связанными с породами штока. Минерализация порфиривого типа также ассоциируется с брекчиями обрушения и гидротермальными брекчиями, которые образуют тела неправильной формы, силлы, «галечные» дайки и хорошо выраженные трубки брекчий с турмалином. Орудинение формируется на поздних стадиях минералообразования в раздробленной основной массе, несущей отчетливые признаки гидротермальной проработки.

На распределение меднопорфириковых месторождений Северной Америки значительное влияние оказывают зоны крупных разломов, движения по которым происходили во время образования рудной минерализации.

Месторождения островных дуг. В пределах современных океанических дуг известно множество кайнозойских и несколько позднемезозойских меднопорфировых месторождений; установлено также, что некоторые месторождения кайнозойского и более древнего возраста формировались в древних островных дугах, которые затем были причленены к континентам в результате столкновения с ними. На Филиппинах известно более 30 месторождений кайнозойского возраста, образовавшихся в условиях дуг, такие же месторождения есть и в Индонезии, на Фиджи, Больших Антильских островах и в Алеутской дуге. Меднопорфировые залежи древних островных дуг открыты на Сардинии, а непромышленное миоценовое орудинение этого типа установлено на Тайване.

Толщи пород формирование которых предшествовало внедрению интрузивов, в основном представлены лавами и пирокластами, как, например, толща Пангуна на Соломоновых островах; в некоторых дугах они сложены флишевыми породами и серпентинитами, как в районе Сабах, а также более древними интрузивными или, что бывает редко, метаморфическими породами. Среди рудовмещающих пород на месторождениях описываемого типа преобладают гранодиориты, кварцевые диориты и диориты, изредка встречаются кварцевые моноциты. Руды островодужных меднопорфировых месторождений обычно содержат золото и немного молибдена, а на месторождениях окраинно-континентальных дуг устанавливается молибден и в некоторых случаях – немного золота. Однако эта закономерность выдерживается не всегда: например, в рудах месторождений Сипалри на Филиппинах необычно много молибдена и мало золота.

Гидротермальные изменения и оруденение. На медных месторождениях порфирового типа рудная минерализация неизменно сопровождается зонами гидротермальных изменений вмещающих пород, которые образовались в результате калиевого и кислотного метасоматоза.

Зона калиевого метасоматоза состоит из внутренней части, представленной ортоклазом и биотитом, причем ортоклаз может замещаться микроклином. Зона окварцевания, пиритизации и серцитизации является внешней по отношению к зоне калиевого метасоматоза, а между ней и самой внешней пропилитовой зоной ореола расположена зона аргиллизации.

Первичные, или гипогенные, медные руды ассоциируются с обильной вкрапленностью пирита и, как правило, представлены рассеянной вкрапленностью и прожилками халькопирита и в меньшей степени борнита, причем вкрапленные руды преобладают в зоне калиевого метасоматоза, а прожилковые – в зоне окварцевания, пиритизации и серцитизации.

Отложения вещества из гидротермальных растворов происходило при уменьшении температуры, повышении концентрации растворенных веществ, а также при изменении летучести серы и кислорода и водородного показателя (pH) в постепенно рассеивавшейся струе растворов.

Хенли и Мак-Набб подсчитали, что для образования рудного тела с запасами 50 млн. т меди при среднем ее содержании в рудах 0,5% потребовалось бы приблизительно 105 лет. Их расчеты основаны на количествах газов, выделяющихся в единицу времени в районе Совасинзан в Японии. Эти газы содержат $427 \text{ млн}^{-1} \text{ SO}_2$ и $0,03 \text{ млн}^{-1}$ меди, а по соотношению Cu/SO_4 они близки к предполагаемым рудоносным растворам меднопорфировых месторождений и, видимо, образуются при дегазации близповерхностного магматического очага.

Гипергенные изменения, которым подвергаются меднопорфировые месторождения, имеют исключительно важное значение. При просачивании грунтовых вод происходит выщелачивание рудных компонентов из верхних частей рудных тел и образуется обедненная зона окисления, мощность которой может достигать 100 м. Эта зона имеет резкий нижний контакт с зоной вторичного обогащения, которая связана с уровнем грунтовых вод. Таким образом, под зоной окисления возникает гипергенная залежь

мощностью до нескольких десятков метров, в которой содержания металлов более чем в четыре раза выше, чем в первичных рудах. В гипергенной зоне обычно встречаются халькозин, ковеллин и куприт.

Источник металлов. Источниками металлов при образовании месторождений порфирирового типа различные авторы считают более древние месторождения, располагавшиеся на глубине, вулканогенные породы или глинистые сланцы, залегавшие под месторождениями, породы мантийного клина над зоной Беньофа, а также породы, испытавшие субдукцию. В последнем случае источниками металлов, как предполагается, являются базальты океанического дна и пелагические осадки, которые характеризовались высокими или средними концентрациями металлов, содержали марганцевые конкреции и гидротермальные сульфидные залежи, образовавшиеся на океаническом дне. Возможно также, что материал, образующийся при разрушении основания надвигающейся плиты в процессе субкrustальной эрозии, также мог быть источником металла на месторождениях описываемого типа; однако такая возможность еще плохо изучена.

Сторонки представлений о геохимическом балансе вещества чаще всего считают источником металлов породы погружающегося океанического дна. На первый взгляд эта гипотеза кажется весьма изящной; согласно ей, все металлы первоначально попадают в породы земной коры в зоне спрединговых океанических хребтов, а затем они просто переотлагаются в ходе процессов, протекающих в зонах субдукции. Однако, по данным Холлистера, вулканические породы коры имеют изотопный состав свинца, который не позволяет их рассматривать ни как источник металлов, ни как источник магмы при формировании интрузивов порфирировых пород. С другой стороны, в рудах меднопорфирировых месторождений Береговых хребтов Северной Америки содержания молибдена достигают значительных величин только там, где эти месторождения располагаются на участках

докембрийских кратонов с мощной земной корой. Это позволяет предположить, что источником металлов были именно породы коры.

Стратиформные месторождения золото- и серебросодержащих цинково-свинцово-медных сульфидных руд типа Куроко.

Эти месторождения образуют самостоятельный крупный класс. По мнению Стентона, они характерны для островных дуг и являются сингенетичными по отношению к вмещающим их породам. Типичными представителями этого класса являются многочисленные месторождения Куроко в миоценовых породах Японии, поэтому все подобные образования называются месторождениями типа Куроко.

Общая добыча металлов на месторождениях этого типа намного меньше, чем на меднопорфировых, и их руды отличаются большими содержаниями полезных компонентов (по меньшей мере 5%). Разработка таких залежей ведется в основном подземными выработками. Иногда руды этого типа называются массивными сульфидными из-за того, что в некоторых случаях в них содержится очень много пирита и других сульфидов, но в настоящее время этот термин употребляется редко. Иногда под стратиформными рудными залежами кое-где устанавливаются штокверковые зоны медной минерализации, содержания полезных компонентов в которых делают их вполне пригодными для отработки.

Все залежи описываемого типа характеризуются высокими содержаниями железа в форме пирита, вот почему они называются стратиформными колчеданными.

Месторождения Куроко в Японии. Месторождения этого типа установлены в Японии на островах Хонсю и Хоккайдо. Они залегают в пределах пояса зеленых туфов, имеют миоценовый возраст и часто рассматриваются в качестве «современных» аналогов более древних колчеданных месторождений, локализованных среди кислых вулканогенных пород. Залежи Куроко встречаются в пределах очень узкого

стратиграфического интервала и по времени образования различаются между собой не более чем на 200 тыс. лет. Рудовмещающий разрез обычно представлен потоками и куполообразными телами лав, брекчиями и туфами кислого состава, которые формировались в обширном грабене ниже волновой базы на завершающих стадиях развития андезит-риолитового вулканизма. В Японии известно более 50 месторождений описываемого типа, они располагаются в пределах пояса размером 500×60 км, отвечающего миоценовой вулканической дуге, в которой встречаются также четвертичные вулканы, сложенные породами толеитового состава.

В настоящее время лучше всего изучены месторождения рудного района Косака, где купола белых брекчированных риолитов перекрываются стратиформными рудными залежами. Последние в нижних своих частях сложены желтыми медноколчеданными рудами, а верхние – черными полиметаллическими рудами, содержащими Pb, Zn и Ba. Судя по наличию обломков руд в древних галечниковых слоях, одновременно с рудонакоплением происходила и местная переработка образующихся залежей. Стратиграфически ниже рудных тел кое-где установлены штокверки прожилковых и вкрапленных кремнистых руд, а местами – гипсовые залежи.

В районе Косака на каждом руднике установлено по несколько сближенных рудных тел, запасы которых изменяются от 200 тыс. т до нескольких миллионов тонн. Средние содержания металлов колеблются от рудника к руднику, поскольку в некоторых случаях в отработку вовлекались сначала богатые руды стратиформных залежей с содержаниями Cu 1,3-7%, Pb 5-27,3%, Zn 12,3-40%, Au 0,7-8,2 млн⁻¹, а только после этого начиналась добыча кремнистых руд штокверковых зон со средними содержаниями Cu 1,9%, Pb 0,1%, Zn 0,2%. Большинство месторождений этого района почти отработаны.

Вслед за Хирокоси многие исследователи образование таких руд связывают с деятельностью подводных гидротермальных источников, которая активизировалась после газовых взрывов на склонах риолитовых куполов. При этом подчеркивается роль разломов, ограничивавших пояс зеленых туфов, однако известно, что некоторые месторождения формировались на удалении от его границ. В пределах пояса встречаются поздние медно-свинцово-цинковые и серебряно-золотые жилы, которые, как считают, возникли в результате циркуляции вод, имевших преимущественно атмосферное происхождение, а это означает, что к концу миоцена Японская магматическая дуга испытала воздымание.

Стратиформные серноколчеданные и цинково-свинцово-медные месторождения Иберийского колчеданного пояса. Месторождения Иберийского пояса разрабатываются уже более 3000 лет. От японских месторождений Куроко они отличаются преобладанием серноколчеданных стратиформных и штокверковых залежей над телами колчеданно-полиметаллических (цинково-свинцово-медных) руд. Пояс отвечает центральной части прогиба шириной 35 км и длиной свыше 230 км, который протягивается в широтном направлении через территорию южной Испании и Португалии и сложен отложениями девона и карбона. Запасы месторождений этого района оцениваются более чем в 1000 млн. т, причем с 1850 г. здесь добыто 250 млн. т руды. Во времена римской колонизации в течении 350 лет из местных руд добывали золото и серебро, об этом теперь напоминают 30 млн. т шлака. Средние содержания компонентов в сплошных рудах составляют 44-48 % S, 39-44 % Fe, 2-6 % Zn и Cu, 0,3-0,5 % As, 0,2-1,5 млн⁻¹ Au и 30 млн⁻¹ Ag. Во вкрапленных медных рудах средние содержания меди колеблются в пределах 0,7-1,2 %. Наиболее известными из описываемых месторождений являются Рио-Тинто, Тарсис и Ла-Царца в Испании, а также Алхустрель и Лоузаль в Португалии. На крупном руднике Аснакольяр около

Севи́льи планируется производить ежегодно 12800 т медного, 21000 т свинцового и 45200 т цинкового концентрата.

Рудовмещающими на этих месторождениях являются породы раннекаменноугольного вулканогенно-осадочного комплекса. Они представлены углистыми и кремнистыми сланцами и радиоляритами. Основные вулканы встречаются реже, чем кислые разности, среди которых преобладают кварцевые кератофиры, а риолиты и дациты пользуются ограниченным развитием. Считается, что стратиформные тела серноколчеданных руд тесно связаны с вулканическими центрами и сформировались на завершающих стадиях развития подводного эксплозивного кислого вулканизма; они либо непосредственно залегают на пирокластитах кислого состава, либо переслаиваются с черными сланцами. Среди вышележащих туффитов с линзами яшмы встречаются марганцевые руды, которые имеют либо аналогичный, либо более молодой возраст, чем серноколчеданные. Пространственные взаимоотношения этих двух типов руд совершенно аналогичны тем, которые устанавливаются для медноколчеданных руд и охры на месторождениях Троодос на Кипре.

Образование линз массивных руд объясняют сползание насыщенного сульфидами глинистого вещества или обломочного сульфидного материала (или того и другого вместе) во впадины рельефа, располагавшиеся на склонах подводных вулканов, подобно тому как это предполагается на месторождениях в районе Бучанс на Ньюфаундленде. На некоторых месторождениях стратиграфически ниже стратиформных залежей развиты штокверки руд типа Куроко, которые отвечают рудопроводящим каналам. Различаются два типа штокверков: в одних преобладает пирит, а другие обогащены медью и связаны с зонами интенсивной хлоритизацией пород.

Месторождения иберийского пояса залегают среди фаций, типичных для вулканических дуг, а геодинамический режим их формирования, который предлагает Манха для объяснения некоторых их особенностей,

полностью соответствует тектоническим условиям образования японских месторождений Куроко.

Каледонские стратиформные колчеданные месторождения Норвегии. К числу стратиформных колчеданных месторождений, образовавшихся в пределах островных дуг, в Норвегии относятся Йёрсвик ($\text{Cu} > \text{Zn}$) и Скурувас ($\text{Zn} > \text{Cu}$). Они отличаются от месторождений типа Куроко отсутствием свойственной последним зональности и преобладанием среди рудовмещающих пород ранних вулканических пород основного состава, хотя иногда, особенно на месторождениях Скурувас, среди них встречаются лавы, вулканические брекчии и дайки андезитового и кислого состава. Пирс и Гейл лавы основного состава этих месторождений отнесли к островодужным базальтам; основанием для этого послужили умеренные содержания Ti, Zr, Y и слабое фракционирование редкоземельных элементов в этих породах.

Рудная залежь Скурувас до начала добычи содержала около 10 млн. т сплошных колчеданных руд, в том числе 1,5 млн. т существенно серноколчеданных, аналогичных рудам Иберийского колчеданного пояса. Остальные 8,5 млн. т руд содержат около 1,15% Cu и 2,29% Zn, в них установлены также незначительные содержания Pb, As и Ag. Рудное тело залегает среди лав и туфов кератофирового состава, слагающих часть разреза толщи вулканогенных известково-щелочных пород, нижняя часть которого представлена потоками подушечных лав базальтового состава. В стратиграфически верхних частях рудных тел и в их перефирических зонах в магнетит-пиритовых рудах возрастают содержания сфалерита, халькопирита, а местами и галенита. Холлс и др. считали это отражением первичной зональности руд. Наличие магнетита, кремнистых сланцев и яшм обычно связывают в выбросами коллоидных растворов железа и кремнистых гидрозолей при вулканических взрывах с последующим накоплением их в подводных окислительных условиях.

Месторождения чилийского типа (типа манто). Было предпринято несколько попыток выделить особые типы эксгальционных, или вулканогенных, месторождений, которые отличаются от залежей типа Куроко характером рудовмещающих пород (например, месторождения типа Бесши или чилийского типа), размерами и соотношениями металлов в рудах. Есть, однако, альтернативная точка зрения, что существует целый ряд месторождений, которые по своим признакам являются переходными не между типами Куроко и кипрским, но и между вулканогенными и невулканогенными месторождениями, например, такими, как залежи медистых сланцев в Европе.

Стратифицированные залежи руд типа манто достигают мощности 100 м при протяженности несколько километров и встречаются среди известково-щелочных вулканогенных пород юрского и раннемелового возраста в Чили и на юге Перу. Руды этих месторождений сложены в основном халькозином, борнитом и халькопиритом. Сульфиды выполняют пустоты и трещины главным образом в верхних частях потоков андезитовых лав и слоях пепловых туфов, а также вулканокластических породах и органогенных известняках. На одном из месторождений руд типа манто в Чили, Буэна-Эсперанса, добыто уже 2,5 млн. т руды, в которой встречается Ag, а содержания меди составляют 3%. На месторождениях в пределах толщи пород андезитового состава мощностью 270 м известно 28 минерализованных горизонтов, мощность которых изменяется от 2 до 25 м. Ученые считают, что месторождения этого типа образуются в пределах окраинно-континентальных вулканических дуг либо в субаэральных, либо в лагунных условиях при циркуляции атмосферных вод среди горячих вулканогенных пород непосредственно после образования последних.

Рудные залежи типа манто имеют такое же происхождение, как и вулканогенные месторождения мексиканского типа. Последние встречаются на Западе США и Мексики, а также в Боливии и северо-западных районах

Аргентины. Руды этих месторождений содержат касситерит, в том числе его натечные разновидности, а также гематит и локализованы среди третичных кислых вулканогенных пород и, возможно, в риолитовых necks, выполняющих жерла вулканов.

Месторождения олова и вольфрама. В некоторых более ранних работах, посвященных месторождениям полезных ископаемых зоны субдукции, уже рассматривались позднемезозойские и кайнозойские залежи оловянных и вольфрамовых руд. Они располагаются во внутренних приконтинентальных зонах магматических дуг, которые содержат меднопорфировые залежи и входят в состав Циркумтихоокеанской системы окраинно-континентальных дуг.

Месторождения олова в большинстве случаев приурочены к позднекайнозойским окраинно-континентальным магматическим дугам, в которых тектонические условия в общих чертах до настоящего времени остаются такими же, какими они были в момент рудообразования. Проявления оловянных руд такого типа известны в миоценовых гранитах Алеутской дуги на Аляске, а также среди олигоценовых лав в районе Западной Сьерра-Мадре в Мексике.

Примером островодужной оловянной минерализации, не связанной с зоной субдукции, являются руды месторождений юго-западной Японии, которые располагаются в пределах Внутренней зоны, прилегающей к побережью Японского моря. Пояс интрузивов позднемелового-палеоценового возраста в этом районе протягивается через большую часть острова Хонсю. Слагающие его гранитоиды содержат в небольших количествах ильменит и магнетит, в них встречаются многочисленные главным образом жильные месторождения вольфрама, олова и меди, где главными рудными минералами являются шеелит в меньшей степени – касситерит. Во время рудообразования территория современной юго-западной Японии соединялась с Азиатским континентом, представляла собой

окраинно-континентальную дугу и в тектоническом отношении являлась аналогом Аляски и Мексики.

К промышленным месторождениям олова, располагающимся в пределах древних магматических дуг, относятся рудные тела пояса Восточного побережья в Малайзии и его возможного продолжения на острове Биллитон в Индонезии. В этом поясе оруденение отличается по возрасту, типу, характеру рудовмещающих пород и генезису от минерализации расположенного к западу Центрального пояса. Оловорудные залежи на рудниках Паханга-Консолидейтед в Малайзии и Келапа-Кампит на острове Биллитон залегают среди отложений пермского или, возможно, каменноугольного возраста. Они представлены терригенными породами ассоциирующимися в Малайзии с андезитами. Месторождения располагаются вблизи интрузивов пермско-раннетриасовых гранитов, входящих в состав преимущественно гранодиоритовой магматической дуги, развитие которой завершилось к началу позднего триаса. Руды характеризуются необычным минеральным составом и состоят из касситерита, магнетита, пирита и пирротина. Они слагают стратиформные залежи, которые локализованы среди ороговиковых осадочных пород. Издавна считается, что оруденение имеет гидротермально-метасоматическое происхождение и генетически связано с гранитами. Однако Хатчинсон и Тейлор выдвинули предположение, что оруденение этого типа может рассматриваться как сингенетическое вулканогенное.

Месторождения золота. Золоторудные проявления нередко бывают связаны с породами магматических дуг. Первичные промышленные залежи образуются при их разрушении. Известно несколько типов первичного оруденения, которые лучше всего можно иллюстрировать примерами месторождений кайнозойского возраста. Судя по размещению последних, они тяготеют к океаническим островным дугам в большей мере, чем к окраинно-континентальным.

Наиболее подробно в литературе описаны теллуриды золота на месторождении Эмперор-Майн на острове Внти-Леву (Фиджи), разработка которого время от времени возобновляется. Оруденение локализовано в брекчированных андезитах плиоценового возраста, которые приурочены к разломам, ограничивающим кальдеру. Рудная минерализация представлена теллуридами золота и золотосодержащими сульфидами и сформировалась уже после внедрения трахиандезитовых и монцонитовых некков в толщу осадочных пород и излияния андезитовых лав, которые выполняют кальдеру. Образования кальдерного комплекса залегают над породами известково-щелочного состава или островодужными толеитами, а, следовательно, золотое оруденение образовалось после первого крупного этапа развития вулканизма на острове. На Филиппинах изучены два месторождения — Антамок и Акупан, очень похожие на залежь Эмперор-Майн.

Много лет назад Линдгреном на полуострове Хаураки в Новой Зеландии были описаны золотоносные кварцевые жилы, которые залегают среди пропилизированных андезитовых и дацитовых лав раннетретичного возраста. Процессы миграции и концентрации золота здесь, вероятно, сопровождали метаморфические преобразования андезитов. В этом районе, разрабатывались и первичное золотое оруденение, и крупные россыпные залежи. Данные месторождения представляют интерес еще и потому, что они являются редким для современных островных дуг примером, когда оруденение, залегающее в андезитах, не связано с расположенными поблизости интрузивами.

Непромышленное золотое оруденение порфиривого типа установлено в шошонитовых породах на месторождении Ванду на Фиджи. Золотосодержащие меднопорфириновые месторождения встречаются как в океанических островных, так и окраинно-континентальных дугах, поэтому интересно отметить, что единственное известное золотое месторождение

порфиrowого типа встречено в пределах океанической островной дуги, где нет признаков существования древней континентальной коры.

Четвертый тип золоторудных месторождений в магматических дугах представлен кварцевыми жилами с золотой минерализацией, встречающимися вблизи контактов диоритовых или гранодиоритовых интрузивов, как это имеет место, например, на Соломоновых островах и на Филиппинах. Фернандесом и Дамаско подробно описано золотое оруденение, связанное с диоритовым интрузивом в золоторудном районе Багио на острове Лусон (Филиппины). В этом районе золотая минерализация приурочена к зонам разломов среди вулканогенных и осадочных пород верхнего мезозоя-олигоцена и встречается в пределах меридиональной зоны шириной до 8 км при протяженности несколько десятков километров, которая располагается непосредственно к западу от диоритового интрузива, имеющего миоценовый возраст. Считается, что руденение имеет в основном плейстоценовый возраст и, следовательно, оно моложе, чем расположенные поблизости диориты и связанные с ними меднопорфиrowые месторождения. Тем не менее, размещение золотоносных жил позволяет предположить существование генетической связи между диоритовыми интрузивами и рудной минерализацией.

Магнетит-гематит-апатитовые месторождения. Известно множество фанерозойских и протерозойских железорудных месторождений, которые связаны с вулканогенными породами кислого состава. Их руды сложены в основном магнетитом, в подчиненных количествах в них встречаются гематит, флюорит и актинолит. Однако все еще продолжаются споры относительно того, являются ли эти образования экструзивными, интрузивными или эксгальационно-осадочными.

На севере Чили установлены плиоцен-плейстоценовые месторождения Эль-Лако, тектоническая позиция и характер залегания которых очень мало изменились со времени формирования оруденения. Возможно, эти залежи

являются аналогами некоторых более древних рудных тел, хотя их позиция свидетельствует об образовании в условиях тылового магматического пояса, а не магматической дуги. На месторождениях Эль-Лако руды залегают в пределах потоков мощностью до 20 м, которые перекрывают игнимбриты (сложное геологическое тело, состоящее внизу из рыхлого пемзового материала, над ним плотного лавоподобного спекшегося туфа, выше частично спекшегося туфа и наверху рыхлого вулканического материала или несваренного туфа) и лавы андезитового состава, являются более или менее синхронными по отношению к близко залегающим риолитам и приурочены к кратерам, располагающимся вокруг кальдеры. Содержания железа в рудах достигают 50%, а общие запасы руд оцениваются в 1 млрд. т. Геохимические данные свидетельствуют о том, что источником рудного вещества являлись нижележащие железистые осадочные породы палеозоя, которые, по-видимому, были мобилизованы под влиянием располагавшихся на глубине интрузивов. Несколько южнее располагается параллельный Тихоокеанскому побережью пояс месторождений мезозойского и кайнозойского возраста. В этом районе оруденение локализовано среди пород андезитового состава, обычно генетически связано с интрузивными образованиями и имеет гидротермальное происхождение; по минералогии руд эти месторождения в целом напоминают залежи Эль-Лако.

В районе Западной Сьерра-Мадре в Мексике, который отвечает кайнозойской магматической дуге, главным источником железа на месторождениях описываемого типа были вулканогенные породы риолитового состава. Они содержат гематит, мартит и магнетит и образуют мощную толщу, выполняющую кальдеру.

В противоположность железным рудам Чили и Мексики, которые рассматриваются, по существу, как вулканические породы, среднепротерозойские железорудные месторождения в районе Кируна в Скандинавии обычно считаются осадочными или эксгальционно-

осадочными, хотя некоторые исследователи считают их интрузивными магматическими образованиями. Оруденение приурочено к двум главным горизонтам верхней части разреза толщи кератофиров и кварцевых кератофиров, которые характерны для магматических дуг. Ученые предположили, что руды отложились на дне моря из горячих рассолов, насыщенных хлоридами металлов.

Месторождения сурьмы, вольфрама и ртути. Многие позднемезозойские и кайнозойские месторождения вольфрама и сурьмы, например, в юго-восточных районах Китая, являются явно эпигенетическими и ассоциируются с гранитными интрузивами. Однако важная группа месторождений вольфрама, сурьмы и ртути, частично ранее считавшихся эпигенетическими, в настоящее время относится к стратифицированным и связанным с вулканическими породами; в качестве примера можно привести месторождения в Восточных Альпах.

В этом районе известны залежи руд трех типов: 1) вольфрамовые (шеелитовые) руды с подчиненными содержаниями Mo, Cu, Bi; 2) сурьмяные (антимонитовые) руды, содержащие небольшие количества As, W и Cu; 3) ртутные (киноварные) руды. К месторождениям шеелитового типа относится недавно открытая крупная залежь Фальберталь. Минерализация этого же типа известна на Сардинии и в Турции, где она имеет кайнозойский возраст и ассоциируется с вулканическими породами андезитового и дацитового состава, которые, возможно, представляют собой образования магматической дуги.

Три перечисленных типа руд встречаются в различных районах, но они повсюду локализованы среди очень похожих вулканогенных и углистых осадочных пород нижнего палеозоя, которые могут быть в различной степени метаморфизованы. Холл и Маухер и Холл считают, что первичное оруденение на этих месторождениях являлось сингенетическим, и было генетически связано с излиянием залегающих неподалеку лав. Однако в

результате последующих деформаций и метаморфизма большая часть руды была ремобилизована с образованием жил несогласных по отношению к напластованию вмещающих пород. Вулканогенные породы, как правило, имеют основной состав, но встречаются и разности среднего и даже более кислого состава. Холл проанализировал размещение месторождений W, Sb и Hg в Альпах относительно предполагаемой раннепалеозойской зоны Беньофа, погружавшейся в северном направлении. Он пришел к выводу, что процессы рудообразования, по всей видимости, протекали в условиях магматической дуги.

Месторождения ртути. Месторождения ртути, ассоциирующиеся с известково-щелочными магматическими породами, встречаются на Филиппинах, в Японии и Новой Зеландии, а также в пределах окраинно-континентальных магматических дуг Мексики и Чили. Месторождения в мезозойских и кайнозойских вулканических поясах на Курильских островах и на Камчатке, характеризующиеся опал-киноварной ассоциацией, называют вулканогенными гидротермальными. Рудовмещающие породы в основном представлены андезитами и дацитами, которые обычно несут следы интенсивной гидротермально-метасоматической переработки. С ртутной минерализацией, представленной киноварью, реальгаром, аурипигментом и изредка самородной ртутью, ассоциируются руды золота и серебра, в некоторых случаях — самородная сера, а часто — полудрагоценный опал.

Месторождения этого типа формируются вблизи поверхности или на поверхности; об этом свидетельствует образование киновари вокруг активных фумарольных источников на Курилах, а также отложение минералов ртути и опала из современных термальных источников в кальдере вулкана Узон на Камчатке.

Уайт и др. выдвинули предположение, что ртуть, входившая в состав газовой фазы, могла отделяться от менее подвижных элементов и отлагаться над зоной кипения растворов, в пределах которой образуются

меднопорфировые месторождения. Этому предположению не противоречит наличие близповерхностных или поверхностных проявлений ртутной минерализации, ее обычная ассоциация с породами андезитового и дацитового состава и сильная гидротермально-метасоматическая переработка вмещающих пород. Однако в районе вулкана Узон на Камчатке отложение ртути из термальных источников в пределах крупной кальдеры, выполненной риолитами и базальтами, вероятно, происходило в условиях растяжения. Такой палеотектонический режим отвечает скорее условиям образования месторождений типа Куроко, а не медных месторождений порфирового типа. Положение плиоценового ртутного месторождения Вишков между Карпатским хребтом и Паннонским тыловодужным массивом также позволяет предположить, что рудообразование здесь протекало в рифтовых условиях или в обстановке растяжения, связанной с погружением Паннойского массива.

Самородная сера. Месторождения самородной серы разрабатываются как в областях окраинно-континентальных дуг (например, в Андах), так и в океанических дугах (например, Японии и на Новых Гебридах). Образование месторождений этого типа в целом характерно для поздней сольфатарной стадии развития вулканизма, и, судя по распределению месторождений, они - имеют лишь косвенное отношение к зоне Беньофа

Возможная сохранность месторождений. Магматические дуги подвергаются эрозии в результате воздымания, связанного с процессами субдукции или при столкновении континента и дуги. Меднопорфировые месторождения образуются на глубинах до 4 км, однако затем рудоносные интрузивы обычно перемещаются на более высокие гипсометрические уровни в толщу вулканогенных пород, в связи, с чем месторождения этого типа отчасти подвергаются эрозии вскоре после их образования. На единицу площади современных кайнозойских дуг приходится значительно больше месторождений, чем в древних дугах; это означает, что лишь немногие

месторождения порфирирового типа сохраняются в течение более или менее продолжительного времени после столкновения дуги с континентом.

6.5 Месторождения зон субдукции

Зоны субдукции охватывают магматические дуги, в пределах которых образование магмы непосредственно связано с погружением океанической литосферы, подводные жалаба и внешние дуги, где поглощение океанического дна проявляется главным образом в тектонических процессах, а также внешние прогибы, в которых погружение и осадконакопление косвенно связано с субдукцией, насколько именно соседние магматические и внешние дуги являются источником заполняющего эти прогибы обломочного материала. Тыловодужные магматические пояса, связанные с ними зоны надвигов и осадочные бассейны, расположенные на континентальной стороне этих поясов, так же обычно рассматриваются в связи с зонами субдукции, хотя и находятся в более глубинных районах континентов, на расстоянии многих сотен километров от окраинно-континентальных магматических дуг. Интерес представляют и связанные с развитием магматических дуг окраинные моря и междуговые прогибы позади систем океанических островных дуг, образующиеся в результате спрединга океанической коры в области тыловых дуг и косвенно связанные с зонами Беньофа. Размещение молодых с геологической точки зрения зон субдукции позволяет предположить, что процесс их формирования, как правило, начинается по границе раздела между тонкой океанической и более мощной корой. Последняя в одних случаях бывает представлена континентальной, а в других – необычно мощной корой океанического типа. Полагают, что субдукция более древней и, следовательно, более плотной литосферы более вероятна, чем субдукция молодой горячей литосферы. Однажды начавшись,

субдукция продвигается до тех пор, пока не произойдет столкновение движения плит, что приводит к образованию трансформных разломов.

Начало субдукции соответствует началу влишеой стадии развития геосинклинали в понимании Обуэна (Aubouin J, 1965). В ходе субдукции в области внешней дуги, которая ограничивает внешний прогиб, происходит воздымание, и зона накопления флишевых толщ смещается в сторону океана.

Зоны субдукции весьма важны с точки зрения поисков полезных ископаемых, так как в их пределах располагаются магматические дуги и тыловодужные магматические пояса, где сосредоточены многочисленные син - и эпигенетические гидротермальные месторождения, формирование которых связано с развитием магматических процессов. Кроме того, в результате тектонических процессов в области внешних дуг могут оказаться и рудоносные офиолитовые породы. И в бассейнах окраинных морей происходит формирование промышленного оруденения.

Глубоковидные желоба и внешние дуги.

Среди осадочных образований глубокоководных желобов не известно никаких проявлений рудных полезных ископаемых. Флишевые пояса внешних дуг рассматриваются как аккреционные призмы пород желобов, океанического дна и континентального подножия, совершенно бесперспективные с точки зрения поисков рудной минерализации, хотя пелагические осадки в основании отдельных ритмов флишевых толщ могут содержать гидрогенные осадочные марганцевые залежи. Офиолитовые породы, оказавшиеся в области островных дуг в результате тектонических процессов, и блоки офиолитов, захороненные в олистостромах, могут содержать крупные месторождения хромитов и сульфидных руд кипрского типа.

В последнее время было выдвинуто предположение, о том что многочисленные рудоносные гранитные интрузивы сформировались в области внешних дуг, а не в пределах магматических дуг или передовых

надвиговых поясов. Основанием для этого послужили установленные в современных внешних дугах гранитные массивы, часть из которых представляет собой крупные батолиты.

В породах слагающих внешние дуги, известны месторождения ртути и сурьмы. Полагают, что осадочные толщи внешних дуг, подвергающиеся уплотнению и деформациям, могли служить важным источником рудообразующих флюидов. К месторождениям, перемещенным в область внешних дуг в результате тектонических процессов относятся:

а) линзообразные хромитовые залежи Индо-Бирманских горных хребтов, они локализованы и среди дунитов, в различной степени подвергшихся серпентинизации, и считаются образованиями верхней мантии океанического ложа;

б) стратиформные медноколчеданные месторождения Кипра, они формировались вблизи подводного центра спрединга, но заняли свое нынешнее положение в результате приращения к внешней дуге в конце субдукции в северном направлении при образовании серии чешуйчатых надвигов;

в) металлоносные черные сланцы Южно-Шотландской возвышенности представляют собой пример обогащенных металлами осадков океанического дна или океанических поднятий и образующих залежи в одной из наиболее изученных древних внешних дуг;

г) оловянное, урановое и медное оруденение в гранитах внешних дуг, к ним относится единственное проявление в кайнозойской внешней дуге на юго-западе Японии.

Эпигенетические месторождения сурьмы и ртути образовались при изменении серпентинитов в результате циркуляции низкотемпературных атмосферных и метаморфических или реликтовых вод. Примером служат месторождения среди флишевых пород мезозоя Береговых хребтов в Калифорнии (Нью-Альмаден).

Магматические дуги. Представляют собой наиболее заметные элементы систем дуг – в их пределах сосредоточена большая часть активных современных вулканов. Вулканические дуги подразделяются на окраинно-континентальные и океанические. Первые располагаются в краевых частях континентов, а последние - в океане, но в его периферических областях.

Окраинно-континентальные дуги (дуги Андского типа) в большинстве приурочены к западным окраинам континентов. Они выражены хребтами, и отвечают земной коре пониженной мощности. В их строении участвуют продукты как субаэральные, так и подводных извержений.

Некоторые окраинно-континентальные дуги по простиранию переходят в океанические магматические дуги с соответствующим изменением состава магм, как это имеет место в Алеутской и Бирманских дугах.

Океанические островные дуги. Они отделены от континентов краевыми бассейнами, которые подстилаются корой океанического типа. Впервые они были описаны в Индонезии и в западных районах Тихого океана. Земная кора под активными магматическими дугами имеет мощность менее 30 км. Как правило, это кора океанического типа, но в некоторых случаях ее мощность увеличена в результате тектонических процессов, а иногда поверх океанической коры залегают породы древних вулканических и внешних дуг.

В состав более сложно построенных дуг, например Японской и Северного острова Новой Зеландии, входят блоки континентальных пород палеозойского или докембрийского возраста, которые, очевидно, были отделены от континентальной окраины.

Вулканические породы океанических дуг чаще всего имеют андезитовый, иногда базальтовый или дацитовый состав, но породы с повышенными содержаниями калия встречаются редко.

Наиболее распространенными типами месторождений являются меднопорфировый и колчеданный.

6.6 Месторождения пассивных континентальных окраин и внутренних бассейнов

Пассивные континентальные окраины (ПКО) характеризуются отсутствием относительных движений континента и океанического дна. ПКО располагаются в пределах единой литосферной плиты, но их первоначальное развитие как участков, подверженных рифтогенезу, и последующее погружение с образованием континентальных шельфов и склонов, связаны с тектоническими процессами на периферии центра спрединга.

В составе краев континентов морфологически выделяют шельф, континентальный склон, континентальное подножье.

Пассивные окраины континентов и микроконтинентов являются одним из важнейших структурных элементов коры, имеющих значительную протяженность и занимающих большие площади на поверхности Земли. Под ПКО подразумевают окраины континентов атлантического типа, т.е. переходного от континента к океану довольно широкую зону, параллельную очертаниям материковой окраины, включающей край континента, шельф, континентальный склон и его подножье. К таким окраинам относятся западные окраины Северной и Южной Америки, окраины Африки (кроме Северной), Южные Австралии и Индостанского полуострова, северные окраины Евразии и Северной Америки.

В ходе спрединга одновременно с рудными областями океанических рифтов на окраины континентов в условиях некомпенсированного прогибания дна бассейна шло формирование моноклиналильных структур – шельфа, континентального склона и континентального подножия.

В геодинамической обстановке шельфа и континентального склона накапливался терригенно-карбонатный комплекс формаций. В зависимости от климата этот комплекс может характеризоваться либо наличием соленосной составляющей в аридном климате, либо угленосной в гумидном.

Спокойные условия осадконакопления формируют слоистый в целом мелкообломочный трансгрессивный разрез. Но слоистость разрушается наличием струй и линз относительно грубообломочного континентального материала. Их образование обусловлено выносом грубого материала с континента реками. Эти линзы и струи фиксируют конусы выноса рек, их дельты и русла и их продолжения в виде каньонов континентального шельфа, захороненные осадками при прогибании и наступлении моря. Таким образом, в целом разрез комплекса можно охарактеризовать как линзовидно-слоистый. На континентальном склоне и у его подножия могут накапливаться огромные массы биогенного органического вещества, которые вместе с терригенным и карбонатным материалом турбидитов формируют нефтегазоносные толщи. Именно с ними связаны месторождения нефти и газа вдоль атлантических окраин Южной и Северной Америк (Гусев и др., 1995). Разрез терригенно-карбонатного комплекса континентального склона в целом ритмичный с градационной слоистостью турбидитов (в палеоразрезах – это флиш). По кромке шельфа, в районе его перехода в континентальный склон, формируются мощные толщи рифовых известняков. Мощность карбонатно-терригенного комплекса нарастает к бровке шельфа. В конце концов, когда весь объем накопившегося материала превышает силу трения между частицами осадка, он срывается и скатывается по континентальному склону. Оставшийся на шельфе материал имеет клиновидную форму залегания с клином, направленным в сторону кромки шельфа. Эти клинформы (Хаин, Ломизе, 1995) сохраняются в палеоразрезах. В районе континентального склона пассивные окраины нарушены разломами, крутопадающими, разделяющими горсты и грабены. Эти разломы способствуют формированию хаотических комплексов пассивных окраин – олистостром – подводно-оползневых образований (в палеоразрезах – это «дикий» флиш или олистостромовая формация). В нижних частях склона может накапливаться терригенно-глинисто-кремниста формация. Разломы не являются

магмовыводящими, это верхнекоровые разломы, и поэтому рудные районы пассивных окраин амагматичны. Однако продукты базальтового вулканизма могут встречаться в незначительном объеме в пределах континентального подножия. Продукты гидротермальной деятельности, накапливающиеся на дне бассейнов, дают вулканогенно-осадочные комплексы полезных ископаемых, часть из которых образуется в результате взаимодействия металлоносных растворов, возникающих при диагенезе и отжатых по разломам вверх. Эти растворы с температурой в 150-160 ° С, достигая карбонатных толщ, взаимодействуют с ними и отлагают сульфиды свинца, цинка (Миргалимсай, Миссисипи), флюорит, барит. В осадочных терригенных толщах вместе с углеродистым веществом накапливаются молибден, ванадий, золото, ртуть, сурьма, марганец, медь (медистые сланцы Мансфельда в Австрии, Замбии), в осадочных терригенно-карбонатных – фосфориты (Марокко, Малый Каратау в Казахстане). Обстановка растяжения не способствует образованию складчатости, хотя наличие солей и глин приводит к образованию диапировой складчатости, обуславливающей строение рудных районов и размещение рудных полей в них. В целом же залегание комплекса пород пассивных окраин можно охарактеризовать как моноклираль или еще более генерализованно как линзу, выклинивающуюся как в сторону континента, так и в сторону океана.

В целом металлогенические области пассивных окраин существуют как геологические блоки линзовидной формы, сложенные терригенно-карбонатным комплексом формаций со слоистым в целом разрезом, характеризующимся зональным строением: в зоне шельфа их строение линзовидно-слоистое за счет линз грубообломочного континентального склона – ритмично-слоистое с хаотическим размещением олистолит («дикий флиш»). Границы блока стратиграфические – это межъярусные и межэтажные контакты. Этот блок содержит рудные районы, комплекс полезных ископаемых которых представлен медью, полиметаллами, золотом,

ртутью, сурьмой, баритом, железом, марганцем, флюоритом, алюминием, фосфоритами, россыпями редких земель, титана и алмазов, углем, нефтью и солями. Эти рудные районы принадлежат к двум типам: шельфа и континентального склона.

Таким образом, рудные районы шельфа представляют собой однородные моноклиналильные блоки, сложенные карбонатно-терригенным комплексом формаций с линзовидно-слоистым разрезом, ограниченные межэтажными границами, фиксирующими зону перехода континента в пассивную окраину, и межкомплексными границами, разделяющими шельф и континентальный склон, подчеркивающимися структурами барьерных рифов в аридном климате или клинформными структурами в гумидном климате. В этих блоках образуется вулканогенный и вулканогенно-осадочный комплекс полезных ископаемых, представленный медью, цинком, золотом, ртутью, и осадочный железо-марганцево-боксито-фосфор-углесоленосный с россыпями алмазов, титана (ильменит, рутил), золота и платиноидов (осьмий, иридий), редких земель (циркон). Тектонотипом ПКО, по Дж Дьюп и Дж Берду (1974), является современная приатлантическая континентальная окраина Северной Америки, начавшая формироваться в позднем Триасе после отделения от Африки. Прибрежная равнина и континентальный шельф сложены осадками, лежащими на континентальном основании. Мощность осадков обычно увеличивается в сторону океана, но местами они выполняют глубокие погребенные проекты. Меловые отложения прибрежной равнины к северу от штата Джорджия представлены в основном трансгрессивными латеральными песками и алевролитами, южнее они переходят в карбонатные осадки. На шельфе отлагаются пески, алевролиты и пелиты, прорезанные каньонами, углубляющимися к океану, по которым с континента транспортируются грубообломочные породы. Континентальный склон и верхние части континентального подножья сложены пластическими осадками, перемещенными с материка, обвальными

и турбидитными отложениями. Еще дальше на абиссальной равнине они сменяются лютитами (илитными зонами), признаки глубоководных осадков батинальной зоны могут служить турбидиты (отложения мутьевых потоков, развитие структуры подводных оползней и др.), в которых круглые стратиграфические интервалы представлены малыми мощностями месторождения полезных ископаемых.

Рудные районы континентального склона сложены карбонатно-терригенным комплексом с флишоидным градационным разрезом и нередко хаотическим комплексом пород («дикий флиш»), ограничены межэтажными и межформационными и межъярусными контактами, листрическими или крутопадающими разломами и представляют собой тектонические чешуи или горсты, грабены континентального склона и линзы вблизи континентального подножия. Эти рудные районы содержат вулканогенные и вулканогенно-осадочные рудные поля, комплекс полезных ископаемых которых представлен золотом, ртутью, сурьмой, свинцом, цинком, баритом, фтором, марганцем, фосфоритом. Осадочные полезные ископаемые представлены марганцем, алюминием, железом, фосфоритом.

Докембрийскими аналогами этих рудных областей, как считается, являются области эпиконтинентальных осадочных бассейнов с хомогенно-осадочными месторождениями железа.

На современных ПКО промышленные месторождения полезных ископаемых отсутствуют, исключение составляют лишь россыпи тяжелых минералов и немногочисленные проявления эвапоритов.

На древних шельфах месторождения имеют позднепротерозойский и фанерозойский возраст. Это относится к месторождениям эвапоритов, фосфоритов и медно-цинковым месторождениям в карбонатных породах. Однако в толщах пород нижнего и среднего протерозоя сосредоточены огромные месторождения железа, известны крупнейшие в мире угольные месторождения в толщах, связанными с дельтами рек, возникшими на

пассивных континентальных окраинах (Англия, Уэльс и восточная часть США) перед закрытием океана Рейк.

В отличие от пород, накопившихся на древних шельфах и в дельтах и содержащих большие запасы полезных ископаемых, толщи древних континентальных склонов и подножий не несут промышленных месторождений.

Эвапориты. Месторождения солей в толщах, сформировавшихся на ПКО, важны не только потому, что имеют промышленное значение и соляные залежи обычно образуют диапиры и связанные с ними нефтяные ловушки, но и потому, что они играли важную роль при формировании стратиформных месторождений меди в нижележащих отложениях рифтов и, возможно, являлись источниками минерализующих рассолов на месторождениях свинца и цинка в карбонатных породах, которые залегают выше их по разрезу.

Эвапориты в районах Красного моря, примыкающих к Эфиопии, представлены миоценовыми солями в виде галита, перекрывающими с угловым несогласием мезозойские отложения. Мощность солей достигнет 3500 м, по направлению к суше они фациально замещаются вулканогенными породами, а с удалением от нее постепенно выклиниваются. Считается, что эвапориты образовались в условиях сбросовых движений блоков и погружения прибрежной равнины относительно Данакильских Альп, что вдоль осевой впадины Красного моря.

Фосфориты. Судя по условиям, существующим в немногочисленных районах современного фосфоритообразования, фосфориты осаждаются главным образом в тропических широтах на мелководье, где привнос обломочного материала с суши незначителен (верхняя часть континентального склона в районе Чили и Перу, вблизи берегов Западной Африки). Они рассматриваются как результат интенсивной переработки более древних месторождений.

Судя по палеогеографическим реконструкциям, многие древние месторождения фосфоритов образовались на континентальных окраинах в тропической зоне или прилегающих к ней районах.

Фосфоритообразование ограничивается в основном участками, на которых холодные океанические воды, обогащенные нутриентами, т.е. фосфатами, нитратами и бикарбонатами, поднимаются в поверхностную зону, где деятельность живых организмов особенно активна.

Высказывается мысль о существовании глобального тектонического контроля фосфоритов, поскольку часто эвстатическое повышение уровня моря, по-видимому, связано с развитием поднятий в океане. Происходящее при этом затопление эпиконтинентальных шельфовых районов, возможно, вызвало активизацию жизнедеятельности морских организмов и повлияло на накопление фосфатов в слабо восстановительных условиях, возникших в результате бактериального окисления.

Черные сланцы, сланцы и их продукты метаморфизма: известковистые филлиты и графитовые сланцы – обычно содержат ряд металлов: Ag, Ni, Cs, V, Mo, Cu, Pb, Zn, и V., в количествах до нескольких сотых долей процента. Извлечение металлов из битуминозных сланцев невыгодно экономически. Редкими исключениями являются кембрийские сланцы Алум в Швеции, ураноносные черные сланцы Венецианских Альп, и некоторые палеозойские сланцевые толщи США. Тем не менее в последнее время обращается внимание на их золото- и платиноносность.

Черные битуминозные сланцы континентальных обстановок являются в основном пелагическими образованиями; они чаще всего залегают на более глубоких участках пассивных континентальных шельфов.

Железняки типа Минетте. Они названы по типичному месторождению в среднеюрских отложениях Лоторингии и представляют собой осадочные железные руды, состоящие преимущественно из шамозитовых колинов в обогащенном шамозитом или сидеритом глинистом

цементе. На всех месторождениях этого типа, железняки отлагались в мелководных морских условиях. Предполагается, что железо поступало либо непосредственно с континента в растворах и в виде тонких взвешенных частиц, либо при разрушении континентальных кор выветривания.

Полосчатые железистые кварциты. Самые крупные послепалеозойские месторождения полосчатых железистых кварцитов приурочены к толщам нижнего и нижней части среднего протерозоя и имеют возраст от 2000 до 1800 млн.лет. Примером могут служить месторождения Лабрадора, Южной Африки и Западной Австралии. Считается, что как и в случае ураново-золотых месторождений типа Витватерсранда, для отложения детритового сидерита, установленного на некоторых месторождениях, была необходима бескислородная атмосфера. Микрофоссилиями, обнаруженными в этих рудах, являются кислородообразующие кремнесодержащие водоросли. В анаэробных условиях полузамкнутых морских бассейнов их деятельность приводила к отложению чередующихся в разрезе кремнистых пород и гематитовых руд.

6.7 Месторождения, формирующиеся в обстановках столкновения плит

В настоящее время принято считать, что столкновение происходит в результате продолжительной субдукции океанической коры, которая приводит к сближению и последующему тектоническому соединению, расположенному на поддвигающейся океанической плите, островной дуги или континентальной коры с расположенной на перекрывающейся плите активной островной дугой или дугой континентальной окраины.

Пассивная континентальная окраина может сталкиваться с активной континентальной окраиной. Это приводит к столкновению типа континент-континент, примером чего может служить эоценовая зона в Гималаях.

Столкновение плит наиболее важная причина горообразования, или орогении и древние пояса, сформировавшиеся в результате столкновения, или их сутурные зоны, опознаются в орогенических поясах мезозойско-позднекайнозойского, палеозойского и протерозойского возраста. В таких поясах столкновения формируются некоторые типы рудных месторождений. Кроме того, современную тектоническую позицию многих ранее сформировавшихся месторождений внутри орогена можно объяснить тектоническими процессами в зонах столкновения плит.

Оруденение, формирующееся в условиях столкновения континентов, представлено крупными гидротермальными месторождениями, ассоциирующимися с интрузиями гранитов, внедрившимися непосредственно после столкновения, а также тектонически перемещенными и выведенными на дневную поверхность месторождениями, сформировавшимися предположительно в различных тектонических обстановках, в том числе на континентальном шельфе и, особенно, в условиях интенсивно минерализованных магматических дуг и океанических хребтов.

С массивами гранитов с пегматитами связаны месторождения олова, вольфрама, молибдена, висмута и фтора.

Выделяется семь главных тектонических обстановок, связанных со столкновением плит: 1) остаточные и унаследованные океанические бассейны, возникшие до столкновения; 2) сутурные зоны, синхронные столкновения; 3) окраины хитерланда перекрывающей плиты; 4) надвиговые пояса форланда, синхронные столкновения и более поздние; 5) бассейны форланда; 6) бассейны хитерланда; 7) межгорные тропи форланда и хитерланда.

Остаточные бассейны. Эти бассейны представляют собой закрывающиеся или поддвигающиеся бассейны, ограниченные, с одной

стороны, зоной субдукции, а с другой - континентальным форландом или неактивной островной дугой на надвигающейся плите.

С ними, как правило, не связаны тектонические обстановки, благоприятные для формирования оруденения.

С вовлечением в зону субдукции окраины форланда начинается воздыманием внешней дуги, обусловленное поддвижением под нее континента и изостатическим всплыванием. Воздымание обеспечивает устойчивый источник сноса обломочного материала для их непрерывного накопления.

Большинство остаточных бассейнов в процессе продолжающегося столкновения закрываются, и образовавшие в них осадки сначала наращиваются над зоной субдукции, формируя внешние дуги, а в дальнейшем деформируются.

Унаследованные бассейны. В некоторых остаточных бассейнах субдукция прекращается до начала столкновения и сохраняются изолированные морские комплексы, подстилаемые океанической корой, но окруженные корой и континентальной мощностью. (северная Каспийская депрессия, заполненная осадками мощностью около 14 км, включающая эвапоритивую серию, надвинутыми в восточном направлении на западную окраину Уральских гор).

Месторождения полезных ископаемых.

Тектонически переработанные комплексы остаточных бассейнов, сохранившиеся во внешних дугах и относительно недеформированных серий унаследованных бассейнов обычно не содержат рудных месторождений, хотя в них могут сохраняться угли, образовавшиеся во время накопления дельтовых отложений; в остаточных бассейнах могли в застойных условиях формироваться карбонатные осадки и фосфориты (США).

Сутурные зоны и связанные со столкновением плит офиолитовые покровы.

Тектонические условия.

Сутурные зоны обычно интерпретируются как границы между породами, ранее принадлежавшими перекрывающей и поддвигающейся плитами. В некоторых поясах столкновения они, вероятно, представляют собой след зоны субдукции, вдоль которой океаническое дно поглощалось непосредственно перед столкновением.

Офиолитовые покровы на форланде континентов. Главное значение сутурных зон для образования рудных месторождений заключается в том, что они обычно служат источником, или "корневой зоной", крупных аллохтонных офиолитовых покровов, которые надвинуты, или "обдущированы", на континентальные окраины и с которыми ассоциируются рудные тела хромитов и сульфидов меди. Только сутуры, синхронные столкновениям, а также синхронные субдукции внешние дуги являются теми тектоническими обстановками, в которых поднимались крупные офиолитовые тела и из которых эти тела могли обособляться в виде надвиговых покровов.

Месторождения полезных ископаемых.

Жадеит и нефрит - метаморфические минералы в сутурных зонах, представляющие промышленный интерес. Обычно они встречаются в породах интерпретируемых как меланж и приуроченных либо к внешним дугам поясов столкновения, либо к самим сутурным зонам, причем нефрит более обычен, чем жадеит. Для образования этих минералов необходимо давление свыше 6 кбар, и они встречаются обычно в ассоциации с глауфокановыми и лавсонитовыми сланцами лавсонит-глаукофан-жадеитовой фации метаморфизма, формирующимися на глубине по крайней мере 250 км. Подъем этих пород происходил вдоль подвигов во внешней дуге, активной в течение субдукции, и при последующем столкновении. Известно промышленное месторождение ювелирных жадеитов в северной Бирме, представляющее собой альбит-жадеитовые дайки доальбского и

позднемезозойского возрастов в серпентинитах, которые находятся в первичном залегании.

Окраина хинтерланда перекрывающей плиты.

Тектонические условия.

При столкновении бывшая дуга континентальной окраины, островная дуга на перекрывающей плите или хантерланд обычно претерпевают меньшую деформацию, чем форланд. Наряду с общим воздыманием, внешняя дуга, трог внешней дуги и иногда магматическая дуга могут либо надвигаться на форланд и эродироваться, либо, что-то случается чаще, внешняя дуга поддвигается под перекрывающую плиту. В результате может происходить тектоническое сближение интрузий магматической дуги и вулканических пород с офиолитовыми комплексами сутурной зоны или с породами форланда, как это местами проявлено в Индской сутуре Тибета и на Тайване.

Месторождения полезных ископаемых.

Месторождения драгоценных камней в Кашмире, Афганистане и Бирме. Их размещение обусловлены выведением на дневную поверхность тектонической обстановкой в кайнозое.

Три из нескольких известных в мире месторождений рубинов приурочены к южной окраине перекрывающей Азиатской плиты и были подняты и обнажены в результате столкновения Индийской и Азиатской плит. Считается, что метаморфические породы возникли в раннетретичную эпоху в результате метаморфизма палеозойских осадочных пород при температуре около 700° С и давлении до 7 кбар.

Тыловодушные магматические и надвиговые пояса.

Тектонические условия.

Между внутренними районами континентов и окраинно-континентальными магматическими дугами иногда располагаются дугообразно изогнутые в плане пояса, представляющие собой поднятия, в

пределах которых распространены батолиты преимущественно гранитного состава. Эти поднятия ограничиваются зонами развития складчатых и надвиговых структур. Пояса, сложенные магматическими породами, часто рассматриваются как фрагменты магматических дуг, отделенные от них межгорными прогибами. Однако, ученые их относили их к специфическим структурам, связанным с прилегающими к ним складчато-надвиговыми поясами форланда, которые носят название тыловодужных надвиговых поясов.

Породы, прорываемые интрузивами, часто являются значительно более древними, чем граниты (например, в Боливии); они испытали воздымание, а в некоторых случаях несут следы метаморфического преобразования в связи с активизацией магматических процессов, как это имеет место в районе Шан-Скарпс в Бирме.

Со стороны континента к магматическим поясам могут примыкать тыловодушные надвиговые пояса. Последние характеризуются широким развитием надвиговых структур с падением плоскостей сместителей в сторону океана. Такие надвиги образуют суб-Андскую зону южноамериканских Кордильер, складчато-надвиговой пояс форланда в западных районах Береговых хребтов Северной Америки. В строении надвиговых пластин и покровов участвуют интрузивные и метаморфические породы тыловодужных магматических поясов, а на континентальной их стороне распространены обломочные, преимущественно континентальные осадочные породы краевых бассейнов сжатия.

Месторождения полезных ископаемых.

В условиях тыловодужных магматических поясов сформировались многие месторождения Sn, W, Mo и ассоциирующихся с ними элементов, а также некоторые проявления меднопорфировых руд. Судя по составу гранитных пород, в этих поясах можно ожидать обнаружения урановых месторождений.

Месторождения олова и вольфрама в магматических породах кислого состава.

Примерами являются месторождения олова в Боливии, Юго-Восточной Азии, штатов Невада и Айдахо.

Боливийские месторождения локализованы в пределах дуги, которая обращена выпуклой стороной внутрь континента, имеет ширину менее 50 км при протяженности 800 км в целом соответствует Восточным Кордильерам. В северной части дуги рудоносные интрузивные породы имеют раннемезозойский возраст. Интрузивные и вулканогенные образования, с которыми связана оловянная минерализация, находятся в центральной части дуги, сформировались в раннемиоценовое время, а в южной части дуги – в позднемиоценовое.

Рудоносные интрузивы прорывают терригенные образования палеозоя и вулканы третичного возраста.

Оловорудные месторождения располагаются в 700 км к востоку от современного глубоководного желоба и отделены от магматической дуги Западных Кордильер бассейном Альтиплано, который выполнен вулканогенными и молассовыми образованиями позднемелового-третичного возраста. К востоку от пояса месторождений олова и параллельно ему протягивается суб-Андская складчато-надвиговая зона, характеризующаяся движениями покровных пластин в восточном направлении и сложенная породами, самые молодые из которых имеют олигоценый возраст.

Западный оловорудный пояс Юго-Восточной Азии. Пояс гранитных интрузивов предположительно раннемелового-раннеэоценового возраста, с которыми связаны месторождения олова и вольфрама, протягивается из юго-восточной части Мандалай в Бирме на юг к Факелу в Южном Тайланде и, далее до Суматры. Этот пояс имеет протяженность около 1400 км при ширине менее 50 км, в плане он слабо изогнут и обращен своей выпуклой стороной на восток.

На территории Бирмы оруденение представлено главным образом касситеритом или вольфрамитом, содержащими грейзенами и кварцевыми жилами в приконтактных зонах интрузивных тел биотитовых адамеллитов и двуслюдяных гранитов; при этом в северном направлении роль вольфрамового оруденения увеличивается.

Оловянная и вольфрамовая минерализация штатов Невада и Айдахо в США.

В западных районах США с интрузивными породами, которые залегают в пределах тыловодужного пояса надвигов североамериканских Кордильер или к западу от него, связано несколько типов минеральных месторождений. Мусковитовые граниты или адамеллиты приурочены к западной окраине участка коры, сложенного породами докембрия.

Жильное месторождение Бьютт в штате Монтана.

Медно-золото-серебрянное месторождение является одним из крупнейших в мире жильных месторождений. Оно располагается на западном краю позднемелового батолита Боулдер и генетически связано с ним. Интрузив сложен в основном биотит-роговообманковыми кварцевыми монцонитами, прорванными позднемеловыми дайками кварцевых парфиров, с которыми связана некоторая часть руд. Месторождение локализовано в зоне позднемелового Тыловодужного пояса надвигов в Кордильерах. Кварцевые монцониты и дайки рассматриваются, как породы тыловодужных магматических поясов.

Оруденение, связанное с карбонатитами и щелочными интрузивными породами.

В пределах некоторых окраинно-континентальных систем дуг на той их стороне, которая обращена к суше, встречаются массивы щелочных гранитов и недосыщенных кремнеземом пород, в том числе нефелиновых сиенитов и карбонатов. Эти интрузивы явно сформировались во время субдукции океанического дна. Примерами их являются карбонатиты Серо-Маномо в

Боливии и карбонатитовый комплекс Грейт-Глен и щелочной интрузив Лох-Боролан в Шотландии. В Боливии два интрузивных тела нефелиновых сиенитов карбонатитового комплекса Серо-Маномо залегают к востоку от пояса оловоносных гранитов Кардильера – Реаль. Карбонатиты Грейт-Глен раннедевонского возраста в Северной Шотландии приурочены к крупному поперечному нарушению, возможно представляющему собой продолжение трансформинного разлома в пределах континентального склона магматической дуги, которая связана с зоной субдукции. В фенитовом ореоле окружающем карбонатиты, встречается асбестообразный рибекит, его скопления могут быть значительны, но промышленного интереса не представляют из-за слишком малой длины волокон.

Месторождения чилийского типа (типа манто).

Существует целый ряд месторождений, которые по своим признакам являются переходными не только между типами Куроко и кипрским, но и между вулканогенными и невулканогенными месторождениями, например, такими, как залежи медистых сланцев в Европе, которые рассматриваются как тип манто.

Стратифицированные залежи руд типа манто встречаются среди известково-щелочных вулканогенных пород юрского и раннемелового возраста в Чили и на юге Перу. Они достигают мощности 100 м при протяженности несколько километров. Руды этих месторождений сложены в основном халькозином, борнитом и халькопиритом. Сульфиды выполняют пустоты и трещины главным образом в верхних частях потоков андезитовых лав и слоя пепловых туфов, а также в вулканокластических породах и органогенных известняках. На одном из крупнейших месторождений руд типа манто в Чили (Буэна-Эсперанса), добыто уже 2,5 млн. т руды, в которой встречается Ag, а содержания меди составляют 3%. На месторождениях в пределах толщи пород андезитового состава мощностью 270 м известно 28 минерализованных горизонтов, мощность которых изменяется от 2 до 25 м.

Считают, что месторождения этого типа образуются в пределах окраинно-континентальных вулканических дуг либо в субэаральных, либо в лагунных условиях при циркуляции атмосферных вод среди горячих вулканогенных пород непосредственно после образования последних.

Платформенные краевые бассейны в областях сжатия.

Краевые бассейны располагаются на континентальной стороне тыловодужных магматических и надвиговых поясов, там, где земная кора опускается перед фронтом надвигов. Эти бассейны называют еще бассейнами тыловых дуг. На примере позднеюрских - эоценовых толщ древнего бассейна Скалистых гор в восточных районах западных Кордильер северной Америки показано, что в этих прогибах вверх по разрезу происходит смена морских отложений континентальными «молассовыми» фациями. В большинстве краевых бассейнов преобладают речные отложения, но в них могут встречаться и мелководные морские образования, а в северных частях канадских Береговых крестов накопления флишевых толщ нижней юры, которое происходило в условиях платформенного бассейна, существовавшего к востоку от магматической дуги. В краевых бассейнах областей сжатия, на той стороне, которая располагается ближе к океану и магматической дуге, обычно развиваются надвиги, в том числе и консидиментационные, причем плоскости их смесителей погружаются навстречу зоне Бенъофа.

Фундамент, на котором возникают краевые бассейны, обычно представлен относительно древней континентальной корой, но в некоторых случаях в его состав входят породы, тектонические прикрепленные к континенту во время складчатости, которая происходила при столкновении плит.

Месторождения полезных ископаемых. Краевые бассейны выполняются осадочными обломочными породами, вулканиты и интрузивные образования в их пределах не встречаются. Поэтому

представлены залежами углей, важными в практически отношении россыпями и урановыми месторождениями песчаникового типа.

Урановые месторождения песчаникового типа.

В штате Вайоминг единственным из урановорудных районов является бассейн реки Южный Рейдер, где урановая минерализация залегает в речных отложениях палеоцена. Урановое орудинение концентрируется в слабо консолидированных красноцветных песчаниках, которые чаще всего представляют собой отложения кос среди глин, песчаников, лигнитов и подчиненных туфов, а выше по разрезу установлены промышленные угольные пласты. Наиболее богатые руды локализованы там, где песчаники переходят в углистые отложения болот или пойм. Также рудные залежи являются хорошим примером урановой минерализации роллового типа. Считается, что она является эпигенетической и обязана своим происхождением циркуляции подземных вод. Уран переносился или в виде карбонатных комплексов и отлагался при восстановлении в песчаниках, на границе зон окисления и восстановления, на контакте со скоплениями пирита, имевшего органическую или неорганическую природу.

Аллювиальные расы и золота и касенткрита.

Важным условием образования россыпей является неоднократное возобновление движений в древних аэрогенных поясах и связанная с ними активизация процессов эрозий. К месторождениям, образовавшимся в таких условиях, относятся россыпи бассейна Магдалена в Колумбии, к востоку от горных хребтов Анд, и краевого бассейна на территории Британской Колумбии в Канаде.

В бассейне Магдалена, к востоку от хребта Центральная Кордельера, где располагаются позднекайназойские стратовулканы, россыпи золота образовались в конце миоцена в пределах молассовой толщ мощностью до 6 км. В плиоцене и плейстоцене в результате вздымания Центральной Кордельеры эти отложения были переработаны, а накопившиеся при этом

позднетретичные гравелиты залегают ныне на высоте более 2000 м. При размыве и переотложении этих гравелитов сформировались богатые россыпи в отложениях современной речной системы.

Аллювиальные и затопленные аллювиальные россыпи касситерита на западном побережье полуострова Малакка являются крупнейшими в мире оловянными месторождениями этого типа. Они сформировались на восточной окраине Малаккского пролива, который представляет собой краевой бассейн сжатия, а источниками касситерита были граниты Главного хребта в Малайзии, которые испытали вздымание в третичное время. Фактором, благоприятствовавшим образованию россыпей, являлись также колебания уровня вздымание Главного хребта, и прогибание Малаккского пролива в третичное время связаны с субдукцией океанической литосферы под находящуюся к юго-западу магматическую дугу Суматры.

Эвапоритовые месторождения плато Корат в Таиланде и Лаосе.

На плато Корат в Таиланде и Лаосе кроме уранового оруденения в юрских песчаниках встречаются эвапориты, представленные мощными слоями калийных солей. Один из слоев, получивший название Нижняя соль, перекрыт пачкой обломочных пород и представляет собой самый мощный в мире горизонт галита. Мощность его достигает 400 м, а в стратиграфической верхней части слоя располагаются промышленные залежи калийных солей, представленные карналлитом. Образование бассейна Корат и сообщавшегося с ним моря произошло в связи с пригибанием территории располагавшейся к востоку от тыловодужного магматического пояса.

Месторождения угля.

Район скалистых гор на территории провинции Британская Колумбия и Альберта является самым лучшим примером угольных месторождений, сформировавшихся в условиях краевых бассейнов в областях сжатия. Они представляют собой крупный источник коксующихся углей позднеюрского раннемелового возраста, которые накапливались к востоку от тылового пояса

надвигов. Они были сильно деформированы во время ларамийской складчатости, когда происходила миграция надвигового пояса в восточном направлении, и сложены битуминозными углями с низкими и средними содержаниями летучих компонентов и антрацитами. Восточнее, в слабо дислоцированной области Футхиле, распространены низкокачественные битуминозные угли с высокими содержаниями летучих, а еще дальше к востоку они сменяются суббитуминозными углями и лигнитами. Качество углей в большей степени зависит от температурных условий, при которых происходило захоронение, но их коксуюемость определяется тем, в какой части мезозойской дельты они накапливались.

Краевые платформенные бассейны в областях растяжения.

В отличие от бассейнов, которые располагаются в областях сжатия позади тыловодужных надвиговых поясов, прогибы этого класса формируются на континентальной стороне магматических дуг в условиях растяжения, где надвиги либо не образуются, либо становятся пассивными в период осадконакопления. Для таких бассейнов характерны высокий тепловой поток и малая мощность коры, возникающие на границах плит в двух случаях. Иногда обстановки растяжения создаются после прекращения субдукции и вулканических процессов в области дуг, а также образования трансформного разлома, вероятно, в связи с тенденцией к субдукции хребта. Существование в прошлом таких условий наиболее достоверно установлено для нынешней провинции бассейнов и хребтов на западе Северной Америки.

Признаком режима растяжения, существовавшего в районе провинции бассейнов и хребтов в позднем кайнозое, являются образовавшиеся здесь в миоценовое время нормальные сбросы, а также базальт–риолитовый бимодальный вулканизм.

Месторождения полезных ископаемых.

Важным рудным районам – примером таких бассейнов является провинция бассейнов и хребтов. В очень сходных условиях образовались флюоритовые и сурьмленные месторождения на севере Таиланда.

Эпитермальное золотосеребряное оруденение в провинции бассейнов и хребтов на западе США.

Эта провинция располагается на территории штата Невада и прилегающих районов и сформировалась в среднемiocеновое время на месте обширного массива магматической дуги, которая в свою очередь развилась над более древним тыловодужным поясом надвигов.

Процессы рудообразования в этом районе протекали на фоне характерных для краевых бассейнов взбросовых движений блоков и развития базальт -риолитового бимодального вулканизма. Здесь имеются многочисленные месторождения золота, серебра и крупнейшее в США эпитермальное месторождение драгоценных металлов Кометок-Лоуд. Оруденение локализовано в эпитермальных жилах, которые возникли в средне– и поздне-третичное время после того, как в этом районе начались сбросовые движения. Рудоносные жилы встречаются не только среди поздне-третичных вулканогенных пород андезитового и дацитового состава, но и в более древних осадочных и метаморфических породах. Анализы изотонного состава кислорода и водорода в гидротермальных минералах показывают, что воды атмосферного происхождения преобладали в составе рудообразующих флюидов, однако на глубоких уровнях месторождения Комсток-Лоуд установлены признаки существенного участия магматической компоненты. В этой провинции имеется также сурьмяная и флюоритовая минерализация миоценового и плиоценового возраста. Циркуляция вод атмосферного происхождения, которые концентрировали драгоценные металлы, вызывались повышенным тепловым потоком над участками

утоненной земной коры, но фтор, по всей видимости, привносился из подкорового источника.

Контрольные вопросы

- 1 Положение минерагении среди частных геологических дисциплин
- 2 Типы минерагенических площадей
- 3 Мегапровинции, провинции и субпровинции платформенных областей
- 4 Месторождения, образовавшиеся в континентальных горячих точках, рифтах и авлакогенах
- 5 Месторождения, образовавшиеся в континентальных горячих точках, рифтах и авлакогенах
- 6 Месторождения полезных ископаемых магматических дуг
7. Месторождения пассивных континентов окраин и внутренних бассейнов
- 8 Месторождения зон субдукции

Список использованных источников

1 Месторождения полезных ископаемых: учебник: Учебник для вузов / под ред. В. А. Ермолова - 3-е изд., стер. - Москва: МГГУ, 2007. - 570 с.

2 Авдонин, В.В. Геология полезных ископаемых: учебник для вузов / В.В. Авдонин, В.И. Старостин. – М.: Академия, 2010. – 383 с.

3 Альбов, М.Н. Опробование месторождений полезных ископаемых / М.Н. Альбов М.- Недра, 1975.

4 Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: учебник для студентов / В.В. Авдонин и др.; под ред В.В. Авдонина, Мос. гос. унив-т им. М.В. Ломоносова. – Москва: Академический проект: Мир, 2007. – 540 с.

5 Старостин, В.И. Геология полезных ископаемых: Учебник для высшей школы. / В. И. Старостин, П.А. Игнатов. – Москва: Академический проект, 2004. – 512 с. («Gaudeamus», «Классический университетский учебник»).

6 Месторождения металлических полезных ископаемых: учебник для вузов / В. В. Авдонин и др. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Академический проект: Трикта, 2005. - 720 с. - («Gaudeamus». Учебник для высшей школы).

7 Геология металлических полезных ископаемых : учеб. пособие для студентов вузов / Э.А. Высоцкий и др.; под общей редакцией Э. А. Высоцкого. – Мн.: - Тетра-Системс, 2006. – 336 с.

8 Карлович, И.А. Геологическое строение и полезные ископаемые Северной Евразии: Учебник для вузов. / И.А. Карлович. – Москва: Академический проект, 2006. – 496 с. («Gaudeamus»).

9 Панкратьев, П. В. Геология полезных ископаемых [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов, обучающихся по программам высшего образования по спец. 21.05.02 Прикладная геология и по

направлению подготовки 05.06.01 Науки о Земле / П. В. Панкратьев, И. В. Куделина; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбург. гос. ун-т". - Оренбург : ОГУ, 2016.