

Г. В. Лебедев

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ПЕРМЬ 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Г. В. Лебедев

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Допущено методическим советом
Пермского государственного национального
исследовательского университета в качестве
учебного пособия для студентов, обучающихся
по направлению подготовки бакалавров «Геология»
и специальности «Прикладная геология»*



Пермь 2025

УДК 550.8:553

ББК 26.34

ЛЗЗ

Лебедев Г. В.

ЛЗЗ Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / Г. В. Лебедев; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2025. – 392 с.

ISBN 978-5-7944-4207-6

Учебное пособие состоит из двух частей.

В части I изложены организационно-правовые основы геологоразведочных работ, рассмотрены их стадийность, геолого-промышленная типизация месторождений; охарактеризованы факторы, определяющие промышленную ценность месторождений, критерии их прогнозирования и методы поисков.

В части II изложены методика документации и опробования поисково-разведочных выработок; в соответствии с действующей стадийностью геологоразведочных работ охарактеризованы принципы и методы проведения оценочных работ, разведки и эксплуатационной разведки месторождений; рассмотрены основы геолого-экономической оценки месторождений, включая методику обоснования кондиций, классификацию и подсчет запасов, оценку эффективности геологоразведочных работ и информационное обеспечение геологического изучения недр.

Издание предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Геология», по специальности «Прикладная геология» и другим университетским геологическим специальностям. Может быть использовано магистрантами, аспирантами, специалистами-геологами при организации и проведении поисковых, оценочных работ, разведке и эксплуатационной разведке твердых полезных ископаемых.

УДК 550.8:553

ББК 26.34

*Печатается по решению ученого совета геологического факультета
Пермского государственного национального исследовательского университета*

Рецензенты: главный геолог пермского обособленного отдела Волго-Уральского филиала Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых, канд. геол.-минерал. наук **Н. А. Даровских**);

д-р геол.-минерал. наук, заведующий лабораторией геологии месторождений полезных ископаемых Горного института УрО РАН **И. И. Чайковский**

ISBN 978-5-7944-4207-6

© ПГНИУ, 2025

© Лебедев Г. В., 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	7
ВВЕДЕНИЕ	10

Часть I. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ	13
1.1. Основные понятия	13
1.2. Основы законодательства Российской Федерации о недрах	16
1.3. Геолого-промышленные типы месторождений	39
1.4. Общие сведения о прогнозных ресурсах и запасах полезных ископаемых	44
1.5. Стадийность геологоразведочных работ.....	46
2. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОМЫШЛЕННУЮ ЦЕННОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	50
2.1. Количество запасов	50
2.2. Концентрация запасов	58
2.3. Качество полезного ископаемого	59
2.4. Горнотехнические условия эксплуатации месторождений	63
2.5. Изменчивость геолого-промышленных параметров залежей ...	67
2.6. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия разработки	68
2.7. Физико-географические и экономико-географические условия	70
2.8. Себестоимость товарной продукции, конъюнктура рынка, рентабельность предприятия	70
3. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	71
3.1. Общие положения	71
3.1.1. Минерагеническое районирование земной коры	71
3.1.2. Виды геологического прогноза	75
3.2. Поисковые критерии прогнозирования	78
3.2.1. Поисковые предпосылки	78
Стратиграфические предпосылки	79
Литолого-фациальные предпосылки	80
Тектонические предпосылки	82

Магматические предпосылки	85
Геохимические предпосылки	87
Геоморфологические предпосылки	88
Геолого-формационные предпосылки	89
3.2.2. Поисковые признаки	91
Прямые поисковые признаки	91
Косвенные поисковые признаки	105
3.3. Прогнозно-поисковые модели месторождений	110
4. МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	114
4.1. Наземные методы поисков	115
4.1.1. Геологическая съемка как важнейший метод поисков	115
4.1.2. Поиски, основанные на изучении ореолов и потоков механического рассеяния	116
Обломочно-речной метод поисков	116
Валунно-ледниковый метод поисков	117
Шлиховой метод поисков	118
4.1.3. Геохимические методы поисков	131
<i>Литохимический метод поисков по первичным ореолам рассеяния</i>	132
<i>Литохимический метод поисков по вторичным ореолам рассеяния</i>	140
<i>Литохимический метод поисков по потокам рассеяния (метод донных осадков)</i>	145
Гидрохимический метод поисков	147
Атмохимический метод поисков	152
Биохимический метод поисков	155
Методы анализа геохимических проб	160
4.1.4. Геофизические методы поисков	163
4.1.5. Экзотические методы поисков	172
4.1.6. Горно-буровые методы поисков	177
4.2. Дистанционные методы поисков	178
4.3. Подводные методы поисков	184
4.4. Выбор рационального комплекса поисковых работ	188
4.5. Оценка результатов поисковых работ	193
4.5.1. Составление отчета о поисковых работах	193
4.5.2. Методы оценки прогнозных ресурсов	195

4.6. Охрана окружающей среды при проведении поисковых работ	200
5. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ	201
5.1. Геологическое задание	201
5.2. Проект	202
5.2.1. Методическая часть	202
5.2.2. Производственная часть	208
5.2.3. Определение стоимости работ и составление сметы	209

ЧАСТЬ II. РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

6. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК.....	210
6.1. Общие положения	210
6.2. Топографо-геодезическое обеспечение геологоразведочных работ	212
6.3. Геологическая документация горных выработок и скважин	217
6.3.1. Геологическая документация горных выработок	218
6.3.2. Геологическая документация буровых скважин	225
<i>Документация скважин колонкового бурения</i>	227
<i>Документация скважин бескернового бурения</i>	237
7. ОПРОБОВАНИЕ	243
7.1. Общие положения	243
7.2. Способы отбора проб и условия их применения	248
7.2.1. Отбор проб в горных выработках	248
7.2.2. Опробование буровых скважин	254
7.3. Системы опробования	260
7.4. Обработка проб	262
7.5. Химическое опробование	273
7.5.1. Главные, попутные, второстепенные компоненты	273
7.5.2. Методы химического анализа	275
7.5.3. Оценка достоверности химического опробования	280
7.6. Техническое опробование	291
7.7. Минералогическое опробование	297
7.8. Технологическое опробование	301
7.9. Товарное опробование	307
8. ОЦЕНОЧНЫЕ РАБОТЫ, РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ РАЗВЕДКА.....	309
8.1. Задачи и принципы разведки	309

8.1.1. Задачи разведки	309
8.1.2. Принципы разведки	310
8.2. Способы и системы разведки	311
8.2.1. Способы разведки	311
8.2.2. Системы разведочных работ	312
8.3. Оценочные работы	317
8.4. Разведка месторождения	320
8.5. Эксплуатационная разведка	326
8.6. Сопоставление данных разведки и разработки	331
9. ОСНОВЫ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ	
МЕСТОРОЖДЕНИЙ	337
9.1. Общие положения	337
9.2. Последовательность проведения геолого-экономической оценки месторождений	337
9.3. Кондиции для подсчета запасов	338
9.4. Подсчет запасов	343
9.4.1. Основные формулы подсчета запасов	344
9.4.2. Методические операции при подсчете запасов	345
9.5. Методы подсчета запасов	359
9.5.1. Традиционные методы подсчета запасов	359
9.5.2. Подсчет запасов с использованием блочного моделирования и геостатистических методов	368
9.6. Классификация запасов твердых полезных ископаемых	375
9.6.1. Группы месторождений (участков) по сложности геологического строения	376
9.6.2. Группы месторождений по степени изученности	377
9.6.3. Категории запасов твердых полезных ископаемых	379
9.6.4. Группы запасов по их экономическому значению	383
9.7. Экономическая эффективность геологоразведочных работ	384
9.8. Информационное обеспечение геологического изучения недр	386
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	388
ПРИЛОЖЕНИЕ. Список основных нормативно-методических документов по поискам и разведке твердых полезных ископаемых...	390

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое читателям второе издание учебного пособия «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» представляет собой исправленный и дополненный вариант ранее изданного двухтомника, имеющего аналогичное название. Необходимость выпуска второго издания обусловлена следующими причинами.

Со времени выпуска первого издания прошло несколько лет. Том 1 «Прогнозирование и поиски месторождений» был издан в 2017 году, а том 2 «Разведка месторождений» – в 2022 году. За это время в некоторых действующих нормативно-методических документах по поискам и разведке месторождений появились изменения, уточнения и дополнения, которые следовало учесть в новом издании. В частности, существенной переработке был подвергнут закон Российской Федерации «О недрах», последняя редакция которого была принята в 2023 году.

После завершения работы над вторым томом пособие было направлено на родственные кафедры 13 вузов страны с просьбой сделать замечания и пожелания, которые целесообразно было бы учесть при подготовке нового издания. Во всех полученных отзывах работа оценена положительно. При составлении второго издания автор, на сколько это возможно, учел изложенные в отзывах замечания.

В учебном пособии обобщен более чем сорокалетний опыт преподавания учебной дисциплины на кафедре поисков и разведки полезных ископаемых Пермского государственного национального исследовательского университета. Для студентов-геологов, обучающихся по направлению «Геология» (профилизация «Геология») и специальности «Прикладная геология», эта дисциплина является базисной, определяющей профиль их специальной подготовки. В ней синтезированы знания по всем изучаемым на факультете наукам как геологического, так естественно-научного цикла.

Следует отметить, что по данному предмету имеется значительное количество учебных изданий, которые, однако, не вполне соответствуют современным требованиям. В значительной степени это обусловлено произошедшими в стране социально-экономическими изменениями, которые хотя и не привели к кардинальной ломке основ поисков и разведки месторождений, но потребовали создания новых нормативных и методических документов, следование которым является обязательным при проведении геологоразведочных работ.

В учебном пособии изложены методы поисков и разведки месторождений только твердых полезных ископаемых. Что касается жидких и газообраз-

ных полезных ископаемых, то методы их изучения являются предметом других учебных дисциплин, в частности, дисциплины «Методы поисков и разведки месторождений нефти и газа».

Издание состоит из двух частей: часть I. Прогнозирование и поиски месторождений; часть II. Разведка месторождений.

Часть I содержит пять разделов: 1. Организационно-правовые основы геологоразведочных работ; 2. Факторы, определяющие промышленную ценность месторождений; 3. Геологические основы прогнозирования месторождений полезных ископаемых; 4. Методы поисков месторождений полезных ископаемых; 5. Организация и проектирование прогнозно-поисковых и поисковых работ. Разделы 1 и 2 фактически являются вводными, в которых сформулирована понятийная база, имеющая отношение к геологоразведочным работам в целом.

При изложении материала автор сознательно отошел от действующего порядка проведения геологоразведочных работ, принятого для твердых полезных ископаемых (1999). Так, исследования, выполняемые на «Стадии 3. Оценочные работы» рассматриваются в части II, названной «Разведка месторождений», а не в части I «Прогнозирование и поиски месторождений». Между тем согласно действующему положению Минприроды РФ «Стадия 3. Оценочные работы» вместе со «Стадией 2. Поисковые работы» включаются в состав «Этапа II. Поиски и оценка месторождений». Рассмотрение оценочных работ в части I совместно с поисками месторождений представляется нецелесообразным, поскольку методики проведения поисковых и оценочных работ существенно отличаются. Рассмотрение оценочных работ в одной части совместно с поисковыми работами потребовало бы необходимость дублирования материала в части II.

Исследования «Стадии 3. Оценочные работы» методически в целом аналогичны работам, проводимым на «Стадии 4. Разведка месторождения». Отличаются они в основном степенью детальности, в частности, плотностью разведочной сети. Это отражается и в объемах геологоразведочных работ, которые на разведочной стадии существенно увеличиваются.

Внимательный содержательный анализ стадий 3 и 4 позволяет сделать вывод, что они практически полностью совпадают соответственно со стадиями «Предварительная разведка» и «Детальная разведка» ранее действовавшей стадийности геологоразведочных работ (1984).

Часть II состоит из четырех разделов: 6. Геологическая документация поисково-разведочных выработок; 7. Опробование; 8. Оценочные работы, разведка месторождений, эксплуатационная разведка; 9. Основы геолого-экономической оценки месторождений.

В большинстве аналогичных изданий раздел, посвященный геологической документации (в учебном пособии – раздел 6), обычно отсутствует. Тем не менее автор счел целесообразным включить его в учебное пособие, поскольку геологическая документация является одним из важнейших видов работ, проводимых при разведке месторождений. В разделе достаточно подробно рассмотрен весьма важный вопрос, связанный с топографо-геодезическим обеспечением геологоразведочных работ.

В разделе 7 «Опробование» изложена методика опробования твердых полезных ископаемых, применяемая на стадиях «Оценочные работы», «Разведка месторождения» и «Эксплуатационная разведка». Методика опробования, применяемая на стадии «Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых», а также на стадии «Поисковые работы», изложена в части I и в части II детально не рассматривается.

Геологоразведочные исследования, проводимые на стадии «Оценочные работы», рассмотрены в разделе 8, в котором охарактеризованы также работы стадий «Разведка месторождения» и «Эксплуатационная разведка». Внешне это кажется нелогичным, так как стадия «Оценочные работы» относится к другому этапу – поиски и оценка месторождений. Поисковые и оценочные работы по методике проведения существенно отличаются, а оценочные работы и разведка месторождений ведутся по единым принципам, и во избежание дублирования помещены в одном разделе.

Автор не претендует на полноту изложения материалов раздела 9 «Основы геолого-экономической оценки месторождений», так как рассматриваемые в нем вопросы являются содержанием самостоятельной геологической дисциплины, изучаемой студентами, обучающимися по специальности «Прикладная геология».

В процессе составления пособия использовались разнообразные нормативно-методические документы, действующие в практике геологоразведочных работ. Для углубленного изучения дисциплины, а также при решении отдельных вопросов, касающихся методики прогнозирования, поисков и разведки месторождений, студентам рекомендуется обращаться к указанным документам (достаточно просто найти в Интернете). Их библиографическое описание приведено в приложении.

Автор глубоко признателен коллегам по кафедре, а также сотрудникам родственных кафедр других вузов, за ценные советы и замечания.

Замечания и пожелания относительно содержания книги прошу направлять по адресу: 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15, Пермский государственный национальный исследовательский университет, геологический факультет, кафедра поисков и разведки полезных ископаемых; e-mail: poisk@psu.ru

ВВЕДЕНИЕ

Российская минерально-сырьевая база – фундамент экономики Российской Федерации. Ее многообразие и масштабность являются основой национальной безопасности страны и естественным конкурентным преимуществом на долгосрочную перспективу.

Минерально-сырьевая база – это совокупность всех видов минеральных ресурсов, заключенных в разведанных и предварительно оцененных запасах и прогнозных ресурсах полезных ископаемых.

Минерально-сырьевой комплекс – понятие, близкое к понятию минерально-сырьевая база, но в него обычно включают производственные структуры, осуществляющие геологоразведочные работы, добычу и переработку минерального сырья.

Россия уверенно сохраняет позиции одного из мировых лидеров по ресурсам, запасам, добыче полезных ископаемых и производству минерально-сырьевой продукции, востребованной как внутри страны, так и на мировом рынке. На территории России и ее континентального шельфа в том или ином количестве выявлены практически все виды полезных ископаемых. Страна входит в число мировых лидеров по количеству запасов углеводородов, угля, железных руд, никеля, кобальта, меди, свинца, цинка, олова, вольфрама, титана, редкоземельных металлов, алмазов, благородных металлов, важнейших видов неметаллических видов полезных ископаемых.

Отечественная сырьевая база является основой функционирования и стабильного развития добывающей и перерабатывающей отраслей экономики. Россия является ведущим производителем сырой нефти, природного газа, угля, железных руд, меди, никеля, кобальта, алюминия, золота, платиноидов, алмазов и других видов продукции, получаемой из минерального сырья. По ряду товарных сырьевых продуктов Россия выступает крупнейшим их поставщиком на мировой рынок: в числе таковых сырая нефть, природный газ, необработанный алюминий, палладий, необработанные алмазы (Государственный доклад..., 2023).

Производство и экспорт минерально-сырьевой продукции и продуктов ее переработки обеспечивают значительную часть поступлений в федеральный бюджет. По данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат) в 2023 г. российская добывающая промышленность обеспечила 12,4 % валовой добавленной стоимости ВВП. По данным Федеральной налоговой службы (ФНС России) налог на добычу полезных ископаемых (НДПИ) составил 27 %, или почти 10 трлн руб. По информации Федеральной таможенной

службы (ФТС России) доля минеральных продуктов в российском экспорте (в стоимостном выражении) составила 61,2 %.

Формирование, масштаб, номенклатура и надежность минерально-сырьевой базы помимо природных условий определяются уровнем развития геологической науки и практики, объемами и видами геологических исследований и геологоразведочных работ, их системностью и непрерывностью.

Устойчивое функционирование минерально-сырьевого комплекса обеспечивается выполнением двух обязательных условий состояния минерально-сырьевой базы. Первое условие (с учетом вероятностной результативности геологоразведочных работ): необходимость значительного превышения объемов прогнозных ресурсов над оцененными запасами и такое же превышение оцененных запасов над разведанными. Второе условие: непрерывное восполнение разведанных запасов по мере их использования и переток прогнозных ресурсов в оцененные и разведанные запасы. Динамическое взаимодействие компонентов минерально-сырьевой базы обеспечивается опережающими геологоразведочными работами, которые гарантируют устойчивое и долгосрочное функционирование минерально-сырьевого комплекса.

Геологоразведочные работы, проводимые с целью наращивания и возобновления ресурсного потенциала, включают прогнозирование, поиски и разведку месторождений. Для успешной работы горнодобывающих предприятий, являющихся поставщиками минерального сырья, геологическое сопровождение добычных работ является обязательным. Методика решения указанных задач рассматривается в учебной дисциплине «Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых», которая является одной из главных в подготовке специалистов-геологов: в ней синтезированы знания практически по всем дисциплинам, изучаемым на геологическом факультете, – геологические, технические, математические, экономические и др.

Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых – это прикладная наука, исследующая методы наиболее эффективного выявления промышленно-ценных скоплений полезных ископаемых и способы их геолого-экономической оценки. Ее геологическую основу составляет учение о полезных ископаемых. *Предметом изучения* науки являются участки недр, которые содержат или могут содержать промышленные скопления полезных ископаемых.

Цель изучения дисциплины – овладение теоретическими и методическими основами прогнозирования, поисков, разведки и геолого-экономической оценки месторождений твердых полезных ископаемых.

Основные **задачи** изучения учебного курса:

1. Изучение основ организации геологоразведочных работ и задач геологической службы на разных стадиях геологоразведочного процесса.
2. Овладение методикой геологического прогнозирования месторождений полезных ископаемых.
3. Освоение методики поисков месторождений полезных ископаемых.
4. Овладение методами разведки и опробования месторождений полезных ископаемых.
5. Изучение принципов геолого-экономической оценки месторождений.

Научные основы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых созданы трудами нескольких поколений отечественных ученых. Большой вклад в эту область знаний внесли такие выдающиеся геологи, как Г. Д. Ажгирей, М. Н. Альбов, Н. В. Барышев, П. Л. Каллистов, А. Г. Бетехтин, Ю. А. Билибин, В. М. Борзунов, А. Б. Каждан, В. И. Красников, В. М. Крейтер, С. В. Купман, В. А. Обручев, Е. О. Погребницкий, А. П. Прокофьев, В. И. Смирнов, С. С. Смирнов, А. А. Якжин и многие другие. Среди известных специалистов в области поисков и разведки месторождений полезных ископаемых последних десятилетий следует назвать В. В. Авдонина, В. В. Аристова, А. Г. Баранникова, В. Е. Бойцова, В. Н. Волкова, С. В. Григоряна, А. И. Кривцова, А. Г. Милютина, В. Ф. Мягкова, Л. М. Петруху, Г. С. Поротова, Л. И. Четверикова и др. Большинство из перечисленных ученых являются авторами учебников и учебных пособий по рассматриваемой дисциплине.

Существенный вклад в разработку методов поисков и разведки месторождений внесли и ученые геологического факультета Пермского университета. Среди них следует особо отметить И. П. Шарапова – автора монографии «Применение математической статистики в геологии», В. Ф. Мягкова – автора учебника «Рудничная геология». На кафедре поисков и разведки полезных ископаемых В. Ф. Мягковым и его коллегами (В. Л. Баталов, Р. Г. Ибламинов, Г. В. Лебедев, А. С. Сунцев) была разработана серия инструктивно-методических руководств и инструкций по эксплуатационной разведке и геологическому обслуживанию горнодобывающих предприятий, разрабатывающих месторождения черных металлов.

ЧАСТЬ I

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПОИСКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

1. ОРГАНИЗАЦИОННО-ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

1.1. Основные понятия

Полезные ископаемые – это природные вещества земной коры, пригодные при существующем уровне техники и технологии для использования в народном хозяйстве. *Попутные полезные ископаемые и попутные полезные компоненты* – это минеральные комплексы (горные породы, руды, подземные воды, рассолы), а также заключенные в полезных ископаемых минералы, металлы, химические элементы и их соединения, не имеющие самостоятельного промышленного значения, но добыча которых при разработке основного полезного ископаемого может быть экономически целесообразной. Попутные (синоним – сопутствующие) полезные ископаемые в отличие от попутных компонентов характеризуются тем, что образуют самостоятельные пласты, залежи или рудные тела в породах, вмещающих основные полезные ископаемые. К попутным полезным ископаемым (за исключением попутных вод, углеводородного сырья и общераспространенных полезных ископаемых) согласно Постановлению Правительства РФ от 12.08.2017 г., № 963 относятся полезные ископаемые, одновременно соответствующие следующим критериям:

- залегают в недрах вместе с основными полезными ископаемыми, указанными в лицензии, выданной пользователю недр, или содержатся в отходах добычи полезных ископаемых и связанных с ней перерабатывающих производств, или находятся во временно не используемых продуктах производства;
- самостоятельная добыча без полезного ископаемого, указанного в лицензии, невозможна и/или экономически нецелесообразна;
- расчетная стоимость попутного полезного ископаемого при его добыче не превышает 10 % общей стоимости всех полезных ископаемых, учтенных государственным балансом запасов полезных ископаемых на лицензионном участке недр.

Полезные ископаемые, извлеченные из недр и подвергнутые обработке, что необходимо для дальнейшего использования, принято называть **минеральным сырьем**. Минеральное сырье является товарной продукцией горного производства.

По агрегатному состоянию полезные ископаемые могут быть твердыми, жидкими и газообразными. Твердые полезные ископаемые подразделяются на рудные, нерудные и горючие. *Рудные* полезные ископаемые содержат минералы или минеральные соединения, которые служат источником получения различных химических соединений или элементов (металлических, химических, агрономических). *Нерудными* называются полезные ископаемые, продуктами переработки которых являются агрегаты минералов или кристаллы (абразивы, диэлектрики, драгоценные и поделочные камни, пьезо- и оптические минералы), а также горные породы, используемые в промышленности без существенной переработки (флюсы, огнеупоры, строительные и керамические материалы). К *твердым горючим* полезным ископаемым относятся угли, горючие сланцы, асфальтиты и озокериты. *Жидкие и газообразные* полезные ископаемые подразделяются: на горючие (нефть, газовый конденсат, горючие газы); пресные, минеральные, соленые воды; инертные газы.

Наряду с вышеприведенной часто пользуются иной, но во многом похожей группировкой полезных ископаемых. В ней по промышленному использованию полезные ископаемые делятся на металлические, неметаллические, горючие (или каустобиолиты) и гидроминеральные полезные ископаемые.

Металлические полезные ископаемые представлены рудами черных (*Fe, Cr, Mn, Ti*), цветных (*Cu, Zn, Pb, Al* и др.), редких (*Ta, Nb, Be, Zr, Li* и др.), редкоземельных (*Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu*) и радиоактивных (*U, Th, Ra*) металлов, а также благородными металлами (*Au, Ag, Pt, Os, Ir, Rh, Pd, Ru*).

Неметаллические полезные ископаемые включают в себя горнохимическое сырье (например, апатиты, фосфориты, барит), сырье для извлечения промышленных минералов (асбест, слюды, графит, драгоценные и поделочные камни и др.), промышленные горные породы (глины, пески, граниты и т.д.).

Горючие полезные ископаемые – это нефть, природные горючие газы, каменный и бурый уголь, торф и горючие сланцы.

Гидроминеральные полезные ископаемые объединяют подземные (в том числе и термальные) пресные воды и минеральные воды, которые могут содержать *I, Br, B* и др. Термальные воды используются в энергетической промышленности.

В зависимости от количества, качества, горно-геологических условий и степени изученности, а также природных и экономических условий размеще-

ния все скопления полезных ископаемых принято разделять на месторождения, проявления (для рудных месторождений – рудопроявления), пункты минерализации.

Месторождением называется природное либо техногенное скопление полезного ископаемого на поверхности (включая дно Мирового океана) или в недрах Земли, по количеству, качеству, условиям залегания и другим свойствам отвечающее требованиям промышленности и при существующем уровне техники и технологии рентабельное для промышленного освоения.

К **проявлениям** (рудопроявлениям) относятся естественные скопления полезных ископаемых, которые по качеству отвечают или почти отвечают требованиям промышленности, но из-за небольших запасов или недостаточной изученности не могут быть отнесены к месторождениям.

Пунктами минерализации называются участки недр, где обнаружены визуально и подтверждены данными опробования незначительные по размерам и низкие по качеству скопления полезных ископаемых.

Данная группировка имеет важное поисковое значение. Пункты минерализации и проявления полезных ископаемых используются как наиболее надежные прямые поисковые признаки для обнаружения месторождений.

На эксплуатируемых месторождениях широко используются такие понятия, как горная масса, рудная масса, потери полезного ископаемого и разубоживание.

Горная масса – вся выданная на поверхность («на-гора») в процессе разработки масса полезного ископаемого и вмещающих пород, включая пустые горные породы из подготовительных, нарезных и очистных выработок.

Рудная масса – добытая руда и примешанные к ней в процессе разработки пустые породы и некондиционные руды.

Потери полезного ископаемого – часть балансовых запасов, не извлеченная при разработке месторождения или утраченная в процессе добычи и переработки. Определяются в абсолютных величинах и в процентах к количеству погашенных запасов.

Разубоживание – снижение содержания полезного компонента в рудной массе за счет смешивания в процессе добычи полезного ископаемого, пустой породы и некондиционных руд. Разубоживание определяется в процентах к среднему содержанию в погашенном блоке или по горнодобывающему предприятию в целом за определенный период времени.

1.2. Основы законодательства Российской Федерации о недрах

Основным законом, регламентирующим недропользование, является Федеральный закон «О недрах», принятый в 1992 г. Закон неоднократно дополнялся, уточнялся и редактировался. Его последняя редакция принята в 2023 г. (12.12.2023, № 576-ФЗ).

Согласно тексту закона, *недра являются частью земной коры, расположенной ниже почвенного слоя, а при его отсутствии – ниже земной поверхности и дна водоемов и водотоков, простирающейся до глубин, доступных для геологического изучения и освоения.*

Недра в границах территории Российской Федерации, включая подземное пространство и содержащиеся в недрах полезные ископаемые, являются государственной собственностью. Вопросы владения, пользования и распоряжения недрами находятся в совместном ведении Российской Федерации и субъектов РФ. Участки недр не могут быть предметом купли, продажи, дарения, наследования, вклада, залога или отчуждаться в иной форме. Добытые полезные ископаемые, подземные воды, специфические минеральные ресурсы могут находиться в федеральной собственности, собственности субъектов РФ, муниципальной или частной собственности.

Государственный фонд недр составляют используемые участки, представляющие собой геометризованные блоки недр, и неиспользуемые части недр в пределах территории РФ и ее континентального шельфа. Владение, пользование и распоряжение государственным фондом недр в интересах народов, проживающих на соответствующих территориях, и всех народов Российской Федерации осуществляются совместно Российской Федерацией и субъектами РФ.

Федеральные органы исполнительной власти и органы исполнительной власти субъектов РФ в пределах своих полномочий *утверждают государственные программы геологического изучения недр, воспроизводства минерально-сырьевой базы и рационального использования недр*; по представлению федерального органа управления государственным фондом недр и под контролем органов представительной власти решают вопросы недропользования, охраны недр и охраны окружающей среды.

В целях обеспечения обороны страны и безопасности государства отдельные участки недр относятся *к участкам недр федерального значения*. Перечень участков недр федерального значения публикуется государственным фондом недр в официальном издании Российской Федерации.

К участкам недр федерального значения относятся участки:

1) содержащие месторождения урана, особо чистого кварца, редкоземельных металлов, никеля, кобальта, тантала, ниобия, бериллия, коренные месторождения алмазов, коренные (рудные) месторождения лития или коренные (рудные) месторождения металлов платиновой группы, с запасами, учтенными государственным балансом запасов полезных ископаемых начиная с 1 января 2006 г.;

2) расположенные на территориях субъектов РФ и содержащие на основании сведений государственного баланса запасов полезных ископаемых начиная с 1 января 2006 г. месторождения:

- с извлекаемыми запасами нефти от 70 млн т;
- с запасами газа от 50 млрд куб. м;
- коренные (рудные) с запасами золота от 50 т;
- с запасами меди от 500 тыс. т;

3) внутренних морских вод, территориального моря, континентального шельфа РФ;

4) при пользовании которыми необходимо использование земельных участков из состава земель обороны, безопасности.

Для обеспечения потребностей РФ в стратегических и дефицитных видах полезных ископаемых из не предоставленных в пользование участков недр формируется **федеральный фонд резервных участков недр**. Включенные в этот фонд участки недр не предоставляются в пользование до принятия решения об их исключении из указанного фонда. Решения о включении/исключении участков недр в федеральный фонд резервных участков принимаются Правительством РФ по представлению уполномоченного федерального органа исполнительной власти.

К участкам недр местного значения относятся:

1) участки недр, содержащие общераспространенные полезные ископаемые;

2) участки недр:

– используемые для строительства и эксплуатации подземных сооружений местного и регионального значения, не связанных с добычей полезных ископаемых;

– используемые для геологического изучения и оценки их пригодности для строительства и эксплуатации подземных сооружений местного и регионального значения, не связанных с добычей полезных ископаемых, за исключением подземных сооружений для захоронения радиоактивных отходов, отходов производства и потребления I–V классов опасности, хранилищ углево-

дородного сырья и/или используемые для строительства и эксплуатации подземных сооружений местного и регионального значения, не связанных с добычей полезных ископаемых;

3) участки недр, содержащие подземные воды, которые используются для целей питьевого, хозяйственно-бытового или технического водоснабжения, объем добычи из которых составляет не более 500 куб. м/сут.

Подготовка и утверждение перечней участков недр местного значения осуществляются органами исполнительной власти субъектов РФ по согласованию с федеральным органом управления государственным фондом недр или его территориальными органами.

Полномочия органов государственной власти. К полномочиям федеральных органов государственной власти в сфере регулирования отношений недропользования относятся:

1) разработка и совершенствование законодательства РФ о недрах;
2) определение федеральной политики и стратегии недропользования, темпов воспроизводства, расширения и улучшения минерально-сырьевой базы;

3) разработка классификаций запасов и прогнозных ресурсов полезных ископаемых;

4) установление порядка определения:

– суммы сбора за участие в аукционах на право пользования участками недр,

– размеров ставок регулярных платежей за пользование недрами;

5) создание и ведение единой системы федерального фонда геологической информации и его подразделений (территориальных фондов) и фондов субъектов РФ (филиалов территориальных фондов);

6) утверждение:

– перечней первичной и интерпретированной геологической информации о недрах, представляемых *пользователями* недр в федеральный, территориальный фонд и фонд субъекта РФ по видам пользования и видам полезных ископаемых,

– порядка, требований к содержанию и форме представления информации о недрах в федеральный и территориальный фонды и фонд субъекта РФ,

– порядка и условий использования геологической информацией о недрах, обладателем которой является РФ,

– перечней геологической информации о недрах, *представляемой пользователями* недр в федеральный и территориальный фонды и фонд субъекта РФ,

– перечней геологической информации, *передаваемой* на временное хранение *пользователям недр*, порядка ее хранения и использования,

– порядка представления образцов горных пород, керна, пластовых жидкостей, флюидов и иных материальных носителей первичной геологической информации о недрах в государственные специализированные хранилища, порядка их хранения, обработки и описания;

7) государственная экспертиза информации об участках недр федерального значения и о разведанных запасах полезных ископаемых, за исключением информации об участках недр местного значения и запасов общераспространенных полезных ископаемых;

8) публикация в официальном издании перечня участков недр федерального значения, формирование федерального фонда резервных участков недр; установление перечней участков недр, право пользования которыми может быть предоставлено на условиях соглашений о разделе продукции:

8.1) формирование совместно с субъектами РФ региональных перечней полезных ископаемых, относимых к общераспространенным;

8.2) согласование (отказ в согласовании) перечней участков недр местного значения, представляемых органами исполнительной власти субъектов РФ;

8.3) установление порядка подготовки, рассмотрения, согласования (отказа в согласовании) перечней участков недр местного значения, представляемых органами исполнительной власти субъектов РФ;

9) составление и ведение государственного баланса запасов полезных ископаемых; государственный учет участков недр, используемых для добычи полезных ископаемых и строительства подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых; составление и ведение государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых; государственная регистрация работ по геологическому изучению недр; установление порядка составления и ведения государственного баланса запасов полезных ископаемых, порядка составления и ведения государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых, порядка составления и ведения территориальных балансов запасов и кадастров месторождений и проявлений общераспространенных полезных ископаемых;

10) распоряжение недрами континентального шельфа РФ;

11) введение ограничений на пользование недрами на отдельных участках для обеспечения обороны страны и безопасности государства, рационального использования и охраны недр, охраны окружающей среды;

12) распоряжение совместно с субъектами РФ государственным фондом недр, за исключением участков, находящихся в исключительном ведении РФ;

- 13) утверждение соглашений на условиях раздела продукции;
- 14) координация научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, связанных с использованием недр;
- 15) защита прав пользователей недр и интересов граждан РФ;
- 16) разрешение споров по вопросам пользования недрами между субъектами РФ;
- 17) заключение международных договоров РФ по геологическому изучению, использованию и охране недр;
- 18) утверждение положения о федеральном государственном геологическом контроле (надзоре) и осуществление федерального государственного геологического контроля (надзора);
- 19) заключение соглашений о разделе продукции при использовании участками недр;
- 20) утверждение положения о федеральном государственном горном надзоре и осуществление федерального государственного горного надзора;
- 21) установление порядка подготовки и оформления документов, удостоверяющих уточненные границы горного отвода;
- 22) рассмотрение и согласование планов или схем развития горных работ по видам полезных ископаемых;
- 23) установление порядка подготовки, рассмотрения и согласования планов или схем развития горных работ по видам полезных ископаемых;
- 24) установление порядка размещения в пластах горных пород попутных вод и вод, используемых пользователями недр для собственных производственных и технологических нужд, порядка размещения в пластах горных пород вод, образующихся у пользователей недр, осуществляющих разведку и добычу, а также первичную переработку калийных и магниевых солей;
- 25) установление критериев отнесения полезных ископаемых к попутным (за исключением попутных вод, углеводородного сырья и общераспространенных полезных ископаемых);
- 26) установление правил разработки и подготовки проектной документации на разработку технологий геологического изучения, разведки и добычи трудноизвлекаемых полезных ископаемых;
- 27) установление порядка добычи полезных ископаемых, не относящихся к углеводородному сырью, из подземных вод, попутных вод и вод, используемых для собственных производственных и технологических нужд:
 - 27.1) установление порядка использования отходов недропользования, в том числе вскрышных и вмещающих горных пород, пользователями недр;
 - 27.2) установление порядка добычи полезных ископаемых и полезных компонентов из отходов недропользования, в том числе из вскрышных и вмещающих горных пород.

Реализация общей федеральной политики недропользования в Российской Федерации возлагается на федеральный орган управления государственным фондом недр и его территориальные органы.

Российская Федерация может передавать отдельные полномочия по регулированию отношений недропользования субъектам РФ.

К полномочиям органов государственной власти субъектов РФ в сфере регулирования отношений недропользования относятся:

1) принятие и совершенствование законов и правовых актов субъектов РФ о недрах;

2) участие в разработке и реализации федеральных и территориальных программ геологического изучения недр, развития и освоения минерально-сырьевой базы РФ;

3) разработка и реализация территориальных программ развития и использования минерально-сырьевой базы;

4) создание и ведение фондов геологической информации субъектов Российской Федерации, установление порядка и условий использования геологической информации о недрах, обладателем которой является субъект РФ;

5) участие в государственной экспертизе запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в пользование участках недр;

6) составление и ведение территориальных балансов запасов и кадастров месторождений и проявлений общераспространенных полезных ископаемых и учет участков недр, используемых для строительства подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых;

7) распоряжение совместно с федеральными органами государственной власти государственным фондом недр на своих территориях:

7.1) подготовка и утверждение перечней участков недр местного значения по согласованию с федеральным органом управления государственным фондом недр или его территориальными органами;

7.2) подготовка и утверждение совместно с федеральным органом управления государственным фондом недр региональных перечней полезных ископаемых, относимых к общераспространенным полезным ископаемым;

8) согласование технических проектов разработки месторождений общераспространенных полезных ископаемых, технических проектов строительства и эксплуатации подземных сооружений местного и регионального значения, не связанных с добычей полезных ископаемых, технических проектов ликвидации и консервации горных выработок, буровых скважин и иных сооружений, связанных с использованием недрами в отношении участков недр местного значения;

9) установление порядка пользования участками недр местного значения;

10) защита интересов малочисленных народов, прав пользователей недр и интересов граждан, разрешение споров по вопросам пользования недрами;

11) участие субъектов РФ в пределах полномочий, установленных Конституцией Российской Федерации и федеральными законами, в соглашениях о разделе продукции при пользовании участками недр;

12) участие в определении условий пользования месторождениями полезных ископаемых;

13) утверждение положения о региональном государственном геологическом контроле (надзоре) и осуществление регионального государственного геологического контроля (надзора);

14) проведение государственной экспертизы запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в пользование участках недр местного значения, а также запасов общераспространенных полезных ископаемых и запасов подземных вод, которые используются для целей питьевого или технического водоснабжения и объем добычи которых составляет не более 500 куб. м/сут.;

15) регулирование других вопросов в области использования и охраны недр, за исключением отнесенных к ведению Российской Федерации.

Виды пользования недрами. Недра предоставляются в пользование:

1) для регионального геологического изучения, включающего региональные геолого-геофизические работы, геологическую съемку, инженерно-геологические изыскания, научно-исследовательские, палеонтологические и другие работы, направленные на общее геологическое изучение недр, геологические работы по прогнозированию землетрясений и исследованию вулканической деятельности, созданию и ведению мониторинга состояния недр, контроль за режимом подземных вод, а также иные работы, проводимые без существенного нарушения целостности недр;

2) геологического изучения, включающего поиски и оценку месторождений полезных ископаемых, а также геологического изучения и оценки пригодности участков недр для строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых;

3) разведки и добычи полезных ископаемых, в том числе добычи полезных ископаемых и полезных компонентов из отходов недропользования, вскрышных и вмещающих горных пород;

4) строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, в том числе подземных сооружений

для захоронения радиоактивных отходов, отходов производства и потребления I–V классов опасности;

5) образования особо охраняемых геологических объектов, имеющих научное, культурное, эстетическое, санитарно-оздоровительное и иное значение (научные и учебные полигоны, геологические заповедники, заказники, памятники природы, пещеры и другие подземные полости);

6) сбора минералогических, палеонтологических и других геологических коллекционных материалов.

Недра могут предоставляться в пользование одновременно для геологического изучения, разведки и добычи полезных ископаемых, а также для разработки технологий геологического изучения, разведки и добычи трудноизвлекаемых полезных ископаемых. Виды трудноизвлекаемых полезных ископаемых устанавливаются Правительством РФ. Разведка и добыча полезных ископаемых, могут осуществляться как в процессе геологического изучения недр, так и после его завершения.

Участки недр, предоставляемые в пользование. Для проведения работ недра предоставляются пользователям в виде *горных отводов* – геометризованных блоков земной коры. Предоставление участков недр в пользование оформляется разрешительным документом – лицензией.

При определении границ горного отвода учитываются пространственные контуры месторождения полезных ископаемых, положение участка строительства и эксплуатации подземных сооружений, границы безопасного ведения горных и взрывных работ, зоны охраны от вредного влияния горных работ, зоны сдвижения горных пород, контуры предохранительных целиков под природными объектами, зданиями и сооружениями, разности бортов карьеров и разрезов и другие факторы, влияющие на состояние недр и земной поверхности в связи с процессом геологического изучения и использования недр.

Предварительные границы горного отвода устанавливаются при предоставлении лицензии на пользование недрами. Документы, которые удостоверяют уточненные границы горного отвода (горноотводный акт и графические приложения), оформляются органом федерального государственного горного надзора после подготовки и согласования технического проекта разработки месторождений или технического проекта строительства и эксплуатации подземного сооружения.

Пользователь недр, получивший горный отвод, имеет исключительное право осуществлять в его границах пользование недрами. Любая деятельность, связанная с использованием недрами в границах горного отвода, может осуществляться только с согласия пользователя недр, которому он предоставлен.

Участку недр, предоставляемому в соответствии с лицензией для геологического изучения без существенного нарушения целостности недр (без проходки тяжелых горных выработок и бурения скважин для добычи полезных ископаемых или строительства подземных сооружений для целей, не связанных с добычей полезных ископаемых), присваивается статус *геологического отвода*. В границах геологического отвода одновременно могут осуществлять деятельность несколько пользователей недр. Их взаимоотношения определяются при предоставлении недр в пользование.

В соответствии с лицензией участки недр предоставляются недропользователям с ограничением по глубине. Для обеспечения полноты геологического изучения, рационального использования и охраны недр границы участка недр, предоставленного в пользование, могут быть изменены. Порядок изменения его границ устанавливается Правительством РФ.

Ограничения и запреты пользования недрами. Пользование отдельными участками недр может быть ограничено или запрещено в целях обеспечения обороны страны и безопасности государства, рационального использования и охраны недр, охраны окружающей среды.

Пользование недрами на территориях населенных пунктов и зон с особыми условиями использования территорий может быть ограничено или запрещено в случаях, если это пользование может создать угрозу безопасности жизни и здоровья населения, охране окружающей среды, сохранности зданий и сооружений, включая сохранность горных выработок, буровых скважин и иных сооружений, связанных с использованием недрами.

Пользователи недр. Пользователями недр могут быть юридические лица, созданные в соответствии с законодательством РФ, индивидуальные предприниматели, являющиеся гражданами РФ, если иное не установлено федеральными законами. Пользователи недр вправе осуществлять пользование недрами с привлечением других лиц по договорам подряда, трудовым договорам и соглашениям, предусмотренным федеральными законами.

Пользователями недр на участках недр федерального значения, за исключением участков недр федерального значения континентального шельфа РФ, могут быть юридические лица, созданные в соответствии с законодательством Российской Федерации, если Правительством Российской Федерации не установлены дополнительные ограничения допуска к участию в аукционах на право пользования такими участками юридических лиц с участием иностранных инвесторов, а также если Правительством Российской Федерации в интересах обеспечения обороны страны и безопасности государства не установлены дополнительные требования к юридическим лицам с участием иностран-

ных инвесторов, которые вправе осуществлять геологическое изучение участков недр федерального значения внутренних морских вод и территориального моря Российской Федерации с целью поиска и оценки месторождений углеводородного сырья.

Пользователями недр на участках недр федерального значения континентального шельфа Российской Федерации могут быть юридические лица, которые имеют опыт освоения недр континентального шельфа не менее пяти лет, в которых доля Российской Федерации в уставных капиталах составляет более 50 % и/или в отношении которых РФ имеет право распоряжаться более чем пятьюдесятью процентами голосов.

Пользователями недр на условиях соглашений о разделе продукции могут быть юридические лица и созданные на основе договоров о совместной деятельности и не имеющие статуса юридического лица объединения юридических лиц при условии, что участники таких объединений несут солидарную ответственность по обязательствам, вытекающим из соглашений о разделе продукции.

Пользователями недр при осуществлении добычи полезных ископаемых, содержащих радиоактивные вещества, при захоронении радиоактивных отходов, отходов производства и потребления I–V классов опасности могут быть юридические лица, имеющие выданные уполномоченным федеральным органом исполнительной власти разрешения (лицензии) на осуществление соответствующих видов деятельности.

Права и обязанности пользователя недр возникают с даты государственной регистрации лицензии на пользование участком недр или даты вступления в силу соглашения о разделе продукции. Права и обязанности пользователя недр прекращаются со дня внесения записи о прекращении права пользования недрами в государственный реестр участков недр, за исключением обязанностей по ликвидации (консервации) предприятия, рекультивации земель, организации работ по защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на период проведения ликвидационных или консервационных мероприятий.

Пользователи недр, осуществляющие геологическое изучение, разведку и добычу полезных ископаемых в границах предоставленных им горных и/или геологических отводов, могут осуществлять добычу попутных полезных ископаемых, не указанных в лицензиях, после получения заключения государственной экспертизы и внесения соответствующих изменений в лицензию.

Пользователями недр на участках недр местного значения могут быть юридические лица, с которыми заключены гражданско-правовые договоры на выполнение работ по строительству, реконструкции, капитальному ремонту,

ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования и другие виды работ, указанные в действующих Федеральных законах.

Пользователями недр на участках недр местного значения могут быть субъекты естественной монополии в области железнодорожного транспорта, с которыми заключены гражданско-правовые договоры на выполнение работ по строительству, реконструкции и капитальному ремонту объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования. Перечень таких объектов утверждается Правительством РФ.

Сроки пользования участками недр. Участки недр предоставляются в пользование на определенный срок или без ограничения срока.

Участки недр предоставляются в пользование на определенный срок:

1) для геологического изучения недр:

– на срок до 5 лет,

– на срок до 7 лет для геологического изучения участков, расположенных полностью или частично в границах Республики Саха (Якутия), в пределах отдельных площадей Республики Карелия; участков, расположенных в сухопутной Арктической зоне РФ (Республика Коми, Камчатский край, Красноярский край, Хабаровский край, Архангельская область, Иркутская область, Магаданская область, Мурманская область, Сахалинская область, Ненецкий автономный округ, Чукотский автономный округ, Ямало-Ненецкий автономный округ),

– на срок до 10 лет для геологического изучения участков недр внутренних морских вод, территориальных морей или континентального шельфа РФ;

2) для добычи полезных ископаемых – на срок отработки месторождения, в соответствии с утвержденным технико-экономическим обоснованием его разработки, обеспечивающим рациональное использование и охрану недр;

3) для добычи подземных вод – на срок до 25 лет;

4) для добычи полезных ископаемых на основании предоставленного права краткосрочного пользования участком недр – на срок до 1 года;

5) для разведки и добычи общераспространенных полезных ископаемых, используемых при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте, ремонте и содержании железных и автомобильных дорог общего пользования – на срок выполнения указанных работ;

6) для разработки технологий геологического изучения, разведки и добычи трудноизвлекаемых полезных ископаемых – на срок до 7 лет;

7) для сбора минералогических, палеонтологических и других геологических коллекционных материалов – на срок до 1 года.

Участки недр предоставляются в пользование без ограничения срока:

1) для строительства и эксплуатации подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, в том числе подземных сооружений для

захоронения радиоактивных отходов, отходов производства и потребления I–V классов опасности;

2) для строительства и эксплуатации хранилищ углеводородного сырья;

3) для размещения в пластах горных пород попутных вод, используемых для производственных и технологических нужд при разведке и добыче углеводородного сырья, а также вод, образующихся при разведке, добыче и первичной переработке калийных и магниевых солей;

4) для образования особо охраняемых геологических объектов.

Для завершения работ срок пользования участком недр может быть продлен недропользователю по его инициативе при отсутствии нарушений условий лицензирования. Срок пользования участком недр исчисляется с даты государственной регистрации лицензии – внесения соответствующей записи в государственный реестр участков недр, предоставленных в пользование.

Предоставление права пользования участками недр. Права пользования участками недр предоставляются недропользователям по решению Правительства РФ или органа государственной власти субъекта РФ в пределах их компетенций, определенных действующим законодательством РФ «О недрах».

Предоставление недр в пользование оформляется специальным государственным разрешением в виде лицензии, представляющей бланк установленной формы, содержащий текстовые, графические и иные приложения. Лицензия определяет основные условия пользования недрами, является документом, удостоверяющим право пользователя недр на пользование участком недр в определенных границах. Форма лицензии устанавливается федеральным органом управления государственным фондом недр.

Лицензия на пользование недрами должна содержать:

1) сведения о пользователе недр, в том числе для юридического лица – полное наименование, его организационно-правовая форма, государственный регистрационный номер, идентификационный номер налогоплательщика; для индивидуального предпринимателя – фамилия, имя, отчество, государственный регистрационный номер индивидуального предпринимателя, идентификационный номер налогоплательщика; сведения об органе, оформившем лицензию, основание предоставления права пользования участком недр;

2) вид пользования недрами;

3) вид основного полезного ископаемого и виды попутных полезных ископаемых (при наличии);

4) наименование (при наличии) участка недр, предоставленного в пользование, и описание его границ;

5) срок действия лицензии;

6) сроки подготовки и утверждения проектной документации на осуществление геологического изучения недр, проектной документации на осуществление разведки месторождения, сроки подготовки и утверждения технического проекта его разработки, технического проекта строительства и эксплуатации подземных сооружений, проектной документации на разработку технологий геологического изучения, разведки и добычи трудноизвлекаемых полезных ископаемых;

7) сроки начала геологического изучения недр и начала разведки месторождения;

8) виды, объемы и сроки проведения геологического изучения недр и разведки месторождений;

9) срок ввода месторождения в эксплуатацию;

10) сроки представления материалов о геологическом изучении недр и разведке месторождений на государственную экспертизу;

11) сроки представления геологической информации о недрах в федеральный фонд геологической информации и его территориальные фонды (включая сроки представления окончательных отчетов о геологическом изучении недр и/или разведки месторождения, разработки технологий геологического изучения, разведки и добычи трудноизвлекаемых полезных ископаемых), а также в фонды геологической информации субъектов РФ (в отношении лицензий на пользование участками недр местного значения); сроки представления государственной отчетности пользователей недр, осуществляющих разведку месторождений полезных ископаемых и их добычу, в указанные фонды;

12) условия, связанные с платежами при пользовании недрами;

13) сведения о собственнике добытых полезных ископаемых, подземных вод, попутных полезных ископаемых (при наличии), вскрышных и вмещающих горных пород, образовавшихся в процессе пользования недрами;

14) сроки подготовки технического проекта ликвидации и консервации горных выработок, буровых скважин и иных сооружений, связанных с пользованием недрами, и проекта рекультивации земель;

15) мероприятия по снижению содержания взрывоопасных газов в шахте, пластах полезных ископаемых и выработанном пространстве до установленных допустимых норм;

16) требования по рациональному использованию и охране недр, по безопасному ведению работ, связанных с использованием недрами;

17) условия, подлежащие включению в лицензию на пользование недрами в отношении участков недр федерального значения, а также участков, расположенных в пределах внутренних морских вод и континентального шельфа;

18) условия пользования участком недр, предусмотренные требованиями аукциона, по результатам которого было предоставлено право пользования недрами.

Условия пользования участком недр сохраняют свою силу в течение сроков, определенных лицензией.

Оформление лицензии осуществляется при предоставлении права пользования участком недр по основаниям, предусмотренным частью первой статьи 10 действующего закона «О недрах».

Государственная регистрация лицензии производится после ее оформления посредством внесения записи сведений о ней в государственный реестр участков недр, предоставленных в пользование.

Выдача лицензии недропользователю осуществляется после ее государственной регистрации.

Оформление, государственная регистрация и выдача лицензий на пользование недрами осуществляются федеральным органом управления государственным фондом недр, его территориальными органами и подведомственными ему государственными казенными учреждениями, а лицензий на пользование участком недр местного значения – уполномоченным органом исполнительной власти соответствующего субъекта РФ.

Внесение изменений в лицензию производится по следующим основаниям:

1) возникновение обстоятельств, существенно отличающихся от тех, при которых право пользования недрами было предоставлено;

2) необходимость завершения работ, определенных лицензией, при отсутствии нарушений условий лицензирования пользователем недр;

3) изменение границ участка недр, предоставленного в пользование;

4) установление пользователями недр наличия на участке не указанных в лицензии попутных полезных ископаемых;

5) исправление технических ошибок, допущенных при оформлении или переоформлении лицензии на пользование недрами, в том числе в сведениях о границах участка недр, предоставленного в пользование;

6) приведение содержания лицензии на пользование недрами в соответствие с требованиями Закона «О недрах» или иных федеральных законов;

7) изменение наименования юридического лица – пользователя недр;

8) необходимостью включения в лицензию документов, удостоверяющих уточненные границы горного отвода (горноотводного акта и графических приложений), в качестве составной части.

Изменения в лицензию вносятся:

1) федеральным органом управления государственным фондом недр, его территориальными органами и подведомственными ему государственными

казенными учреждениями (за исключением внесения изменений в лицензии на пользование участком недр местного значения);

2) уполномоченным органом исполнительной власти соответствующего субъекта РФ (в отношении лицензий на пользование участком недр местного значения).

Внесение изменений в лицензию осуществляется по инициативе недропользователя или по инициативе органов власти, осуществляющих регулирование отношений в сфере недропользования. Принятие решения о внесении изменений в лицензию осуществляется комиссиями, создаваемыми органами управления фондами недр. Внесение изменений в лицензию оформляется приложением к ней, которое вступает в силу с даты внесения записи о соответствующем изменении в государственный реестр участков недр, предоставленных в пользование.

Лицензия на пользование недрами подлежит *переоформлению* в случае перехода права пользования участком недр новому субъекту предпринимательской деятельности. Переоформление лицензий осуществляется федеральным органом управления государственным фондом недр, его территориальными органами и подведомственными ему государственными казенными учреждениями, а лицензий на пользование участком недр местного значения – уполномоченным органом исполнительной власти соответствующего субъекта РФ.

Принятие решения о переоформлении лицензии на пользование недрами осуществляется комиссией, создаваемой федеральным органом управления государственным фондом недр или его территориальным органом, а в отношении лицензии на пользование участком недр местного значения – уполномоченным органом исполнительной власти соответствующего субъекта Российской Федерации.

При переоформлении лицензии условия пользования участком недр, установленные прежней лицензией, пересмотру не подлежат.

Аукционы на право пользования участками недр федерального значения, участки недр местного значения, а также участками недр, не отнесенных к участкам федерального или местного значения, проводятся в электронной форме в порядке, установленном Правительством РФ.

Принятие решения о проведении аукциона и составе аукционной комиссии осуществляется:

1) Правительством РФ – в отношении участков недр федерального значения;

2) органом государственной власти субъекта РФ – в отношении участков недр местного значения;

3) федеральным органом управления государственным фондом недр или его территориальными органами – в отношении участков недр, не отнесенных к участкам недр федерального или местного значения.

Порядок проведения аукциона на право пользования участком недр должен учитывать:

- интересы государства в сфере обороны и безопасности;
- требования документов стратегического планирования, рационального использования и охраны недр, охраны окружающей среды;
- социальные, экономические, экологические интересы населения, проживающего на соответствующей территории, и граждан РФ.

Объявление о проведении аукциона размещается на официальном сайте РФ в информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» не менее чем за 45 дней до дня начала торгов.

Порядок подачи заявки на участие в аукционе, процедура проведения торгов, критерии выявления победителя, порядок внесения платежа за участие в аукционе и окончательного разового платежа (для победителя) изложены в ст. 13.1; перечень причин отказа в приеме заявки на участие в аукционе – в ст. 14; формирование и ведение реестра недобросовестных участников аукционов – в ст. 14.1.

Прекращение права пользования недрами. Право пользования недрами прекращается *по истечении срока пользования участком недр*, установленного лицензией.

Право пользования недрами может быть *досрочно прекращено* в случаях:

- 1) возникновения угрозы жизни или здоровью людей в результате пользования недрами;
- 2) нарушения пользователем недр условий, зафиксированных в лицензии;
- 3) если недропользователь в срок, установленный лицензией, не приступил к деятельности по пользованию недрами;
- 4) ликвидации пользователя недр;
- 5) нарушения пользователем недр требований по рациональному использованию и охране недр;
- 6) непредставления и/или нарушения порядка представления пользователем недр геологической информации о недрах в федеральный фонд геологической информации и его территориальные фонды, а также в фонды геологической информации субъектов РФ (в отношении участка недр местного значения);
- 7) подачи заявления о досрочном прекращении права пользования недрами;

8) возникновения обстоятельств, являющихся случаями обязательного перехода права пользования участками недр и/или основаниями обязательного переоформления лицензии на пользование недрами.

При несогласии с решением о досрочном прекращении права пользования недрами недропользователь может обжаловать его в административном или судебном порядке. В случае признания принятого решения незаконным, право пользования недрами подлежит восстановлению.

При прекращении права пользования недрами недропользователь прекращает предусмотренную лицензией деятельность за исключением ликвидации и/или консервации горных выработок, буровых скважин и иных сооружений, связанных с использованием лицензионным участком недр. При этом в государственный реестр участков недр, предоставленных в пользование, вносится соответствующая запись.

Принятие решений о досрочном прекращении, приостановлении или ограничении права пользования недрами производится комиссиями, создаваемыми федеральным органом управления государственным фондом недр или его территориальным органом, а в отношении участков недр местного значения – органами государственной власти субъектов Российской Федерации.

Действующим законодательством определены *права и обязанности пользователей недр*, а также *требования к профессиональной квалификации специалистов*.

Основные требования к рациональному использованию и охране недр:

1) соблюдение установленного законодательством порядка предоставления недр в пользование, недопущение самовольного пользования недрами;

2) обеспечение полноты геологического изучения, комплексного использования и охраны недр;

3) проведение опережающего геологического изучения недр, обеспечивающего достоверную оценку запасов полезных ископаемых или свойств участка недр, предоставленного в пользование в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых;

4) проведение государственной экспертизы запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в пользование участках недр, государственный учет работ по геологическому изучению недр, участков недр, предоставленных в пользование, и лицензий на пользование недрами;

5) обеспечение наиболее полного извлечения из недр запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов;

6) достоверный учет извлекаемых и оставляемых в недрах запасов основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых и попутных компонентов при разработке месторождений полезных ископаемых;

7) охрана месторождений полезных ископаемых от затопления, обводнения, пожаров и других факторов, снижающих качество полезных ископаемых и промышленную ценность месторождений или осложняющих их разработку;

8) предотвращение причинения вреда недрам при их использовании;

9) соблюдение установленного порядка консервации и ликвидации горных выработок, буровых скважин и иных сооружений, связанных с использованием недрами;

10) предупреждение самовольной застройки площадей залегания полезных ископаемых и соблюдение установленного порядка использования этих площадей в иных целях;

11) предотвращение размещения отходов производства на водосборных площадях и на площадях залегания подземных вод, которые используются для целей питьевого водоснабжения или технического водоснабжения.

Рациональное использование и охрана недр. Действующим законодательством определены важнейшие условия и требования к следующим видам деятельности, связанным с недропользованием:

1) составление технических проектов разработки месторождений полезных ископаемых, строительства и эксплуатации подземных сооружений, ликвидации и консервации горных выработок, буровых скважин и иных сооружений, связанных с использованием недрами;

2) первичная переработка минерального сырья пользователями недр;

3) добыча полезных ископаемых и полезных компонентов из отходов производства;

4) добыча полезных ископаемых и полезных компонентов из вскрышных и вмещающих горных пород;

5) основные требования по безопасному ведению работ;

6) условия застройки площадей залегания полезных ископаемых;

7) предоставление земельных участков и водных объектов, находящихся в государственной или муниципальной собственности и необходимых для осуществления пользования недрами;

8) прекращение прав граждан и юридических лиц на земельные участки и водные объекты, необходимые для осуществления пользования недрами;

9) ликвидация и консервация горных выработок, буровых скважин и иных сооружений, связанных с использованием недрами, объектов хранения отходов, вскрышных и вмещающих горных пород;

- 10) геологическая информация о недрах;
- 11) единый фонд геологической информации о недрах;
- 12) особенности представления, хранения и использования образцов горных пород, керна, пластовых жидкостей, флюидов и иных материальных носителей первичной геологической информации о недрах;
- 13) государственный учет и государственная регистрация;
- 14) государственная экспертиза запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в пользование участках недр;
- 15) государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых;
- 16) государственный баланс запасов полезных ископаемых;
- 17) составление и ведение государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых и государственного баланса запасов полезных ископаемых;
- 18) охрана участков недр, представляющих особую научную или культурную ценность;
- 19) установление факта открытия месторождения полезных ископаемых;
- 20) государственное денежное вознаграждение за открытие месторождения полезных ископаемых.

Государственное регулирование отношений недропользования. Основное назначение государственного регулирования отношений недропользования – обеспечение воспроизводства минерально-сырьевой базы и ее рациональное использование. Оно осуществляется посредством управления, лицензирования, учета и государственного контроля (надзора).

Задачи государственного регулирования:

- определение объемов добычи основных видов полезных ископаемых на текущий период и на перспективу по Российской Федерации в целом и по регионам;
- обеспечение развития минерально-сырьевой базы и подготовки резерва участков недр, используемых для строительства подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых;
- обеспечение геологического изучения территории Российской Федерации, ее континентального шельфа, Антарктики и дна Мирового океана;
- установление квот на поставку добываемого минерального сырья;
- введение платежей, связанных с использованием недрами, а также регулируемых цен на отдельные виды минерального сырья.

Государственное управление отношениями недропользования осуществляется Президентом РФ, Правительством РФ, органами исполнительной

власти субъектов РФ, а также федеральным органом управления государственным фондом недр и органом федерального государственного горного надзора.

Федеральный орган управления государственным фондом недр и его территориальные органы не могут выполнять функции управления хозяйственной деятельностью предприятий, осуществляющих разведку и разработку месторождений полезных ископаемых, а также строительство и эксплуатацию подземных сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых, и заниматься коммерческой деятельностью

Государственный мониторинг состояния недр, являющийся частью государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды), осуществляется федеральным органом управления государственным фондом недр в соответствии с законодательством РФ.

Государственный геологический контроль (надзор) осуществляется федеральным органом исполнительной власти в соответствии с положением, утверждаемым Правительством РФ, – для объектов федерального значения, и уполномоченными органами исполнительной власти субъектов РФ в соответствии с положениями, утверждаемыми исполнительными органами государственной власти субъектов РФ, – для объектов регионального значения.

Предметом геологического контроля является соблюдение организациями и гражданами обязательных требований в области использования и охраны недр, установленных Законом о недрах, Водным кодексом РФ (в части требований к охране подземных водных), Налоговым кодексом РФ (в части нормативов потерь при добыче полезных ископаемых и подземных вод), а также требований, содержащихся в лицензиях на пользование недрами.

Федеральный государственный горный надзор осуществляется федеральным органом исполнительной власти в соответствии с положением, утверждаемым Правительством РФ. Предметом федерального государственного горного надзора являются:

1) соблюдение пользователями недр обязательных требований, предусмотренных Законом о недрах, и принимаемых в соответствии с ним нормативными актами по безопасному ведению работ, связанных с использованием недрами, на объектах, не отнесенных к опасным производственным объектам в соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ от 21.07.1997 г. «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»;

2) соблюдение изготовителем, исполнителем и продавцом требований, установленных техническими регламентами в соответствии с Федеральным законом № 184-ФЗ от 27.12.1997 г. «О техническом регулировании».

Организация и осуществление федерального государственного горного надзора регулируются Федеральным законом № 248-ФЗ от 31.07.2020 г. «О государственном контроле (надзоре) и муниципальном контроле в РФ».

При осуществлении федерального государственного горного надзора проводятся следующие контрольные (надзорные) мероприятия: 1) выездные проверки; 2) документарные проверки.

Платежи за пользование недрами. При пользовании недрами уплачиваются следующие платежи:

- 1) разовый платеж за пользование недрами;
- 2) регулярные платежи за пользование недрами;
- 3) сбор за участие в аукционе.

Пользователи недр уплачивают и другие налоги и сборы, установленные законодательством РФ о налогах и сборах. Пользователи недр, выступающие стороной соглашений о разделе продукции, также являются плательщиками платежей.

Регулярные *платежи* за пользование недрами *не взимаются*:

- за пользование недрами для регионального геологического изучения;
- пользование недрами для образования особо охраняемых геологических объектов, имеющих научное, культурное, эстетическое, санитарно-оздоровительное и иное значение;
- разведку полезного ископаемого в границах горного отвода, предоставленного пользователю недр для добычи этого полезного ископаемого.

Размеры регулярных платежей за пользование недрами определяются в зависимости от экономико-географических условий, размера участка недр, вида полезного ископаемого, продолжительности работ, степени геологической изученности территории и степени риска.

Административную и уголовную ответственность несут лица, виновные в нарушении законодательства РФ о недрах. Привлечение к ответственности за нарушение законодательства РФ о недрах не освобождает виновных лиц от обязанности устранить выявленное нарушение и возместить причиненный вред.

Споры по вопросам пользования недрами разрешаются органами государственной власти, судом или арбитражным судом в соответствии с их полномочиями и в порядке, установленном законодательством.

Информация о геологическом строении недр, находящихся в них полезных ископаемых, содержащаяся в геологических отчетах, картах и иных материалах, может находиться в государственной собственности или в собственности пользователя недр. Информация о недрах, полученная пользователем недр за счет государственных средств, является государственной собственностью,

а информация, полученная пользователем недр за счет собственных средств, является его собственностью и представляется пользователем недр в федеральный и территориальный фонды геологической информации с указанием условий ее использования.

Должностные лица федерального и территориальных фондов геологической информации обязаны обеспечить конфиденциальность представляемой им информации; несут материальную, административную или уголовную ответственность за ее несанкционированное разглашение.

Государственная экспертиза запасов полезных ископаемых проводится в целях создания условий для рационального комплексного использования недр, определения платы за пользование недрами, границ участков недр, предоставляемых в пользование.

Предоставление недр в пользование для добычи полезных ископаемых разрешается только после проведения государственной экспертизы их запасов. Заключение государственной экспертизы о промышленной значимости разведанных запасов полезных ископаемых является основанием для их постановки на государственный учет. Экспертиза запасов, геологической, экономической и экологической информации о предоставляемых в пользование участках недр осуществляется за счет пользователей недр. Организация экспертизы возлагается на федеральный орган управления государственным фондом недр и (для участков недр местного значения) – на органы государственной власти субъектов РФ.

Государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых ведется с целью обеспечения разработки федеральных и региональных программ геологического изучения недр, комплексного использования месторождений полезных ископаемых и рационального размещения предприятий по их добыче.

Государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых представляет собой совокупность систематизированных по установленной форме сведений по каждому месторождению и проявлению, которые характеризуют количество и качество основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых, содержащихся в них компонентах, горнотехнические, гидрогеологические, экологические условия разработки месторождения, геолого-экономическую оценку.

Государственный баланс запасов полезных ископаемых ведется с целью учета состояния минерально-сырьевой базы. Он содержит сведения о количестве, качестве и степени изученности запасов каждого вида полезных ископаемых по месторождениям, имеющим промышленное значение, об их размещении, степени промышленного освоения, добыче, потерях

и обеспеченности горнодобывающего предприятия разведанными запасами.

Государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых и государственный баланс запасов полезных ископаемых составляются и ведутся федеральным органом управления государственным фондом недр на основе информации, представляемой предприятиями, ведущими геологическое изучение недр, а также государственной отчетности предприятий, осуществляющих разведку месторождений полезных ископаемых и их добычу.

Государственное геологическое изучение недр. Основными его задачами являются: геологическое картирование территории РФ и ее шельфа, поиски и оценка месторождений полезных ископаемых в соответствии с государственными программами, мониторинг состояния недр и прогнозирование происходящих в них процессов, сбор и хранение информации о недрах, состоянии минерально-сырьевой базы и др.

Организация государственного геологического изучения недр возлагается на федеральный орган управления государственным фондом недр. Работы по геологическому изучению недр, поискам и разведке месторождений проводятся в соответствии с проектами, экспертиза которых организуется федеральным органом управления фондом недр или его территориальными органами за счет средств пользователей недр.

Ответственность за нарушение законодательства Российской Федерации о недрах и разрешение споров по вопросам пользования недрами. Лица, виновные в нарушении законодательства Российской Федерации о недрах, несут административную, уголовную ответственность. Привлечение к ответственности за нарушение законодательства РФ о недрах не освобождает виновных лиц от обязанности устранить выявленное нарушение и возместить причиненный этими лицами вред.

Споры по вопросам пользования недрами разрешаются органами государственной власти, судом или арбитражным судом в соответствии с их полномочиями.

По взаимной договоренности сторон имущественные споры, связанные с использованием недрами, могут быть переданы на рассмотрение третейского суда.

Споры по вопросам пользования недрами на условиях раздела продукции разрешаются в соответствии с условиями заключенных соглашений.

Лица, причинившие вред недрам вследствие нарушения законодательства РФ о недрах, возмещают его добровольно или в судебном порядке.

Порядок расчета размера вреда, причиненного недрам, устанавливается Правительством РФ.

Международные договоры. Если международным договором РФ установлены иные правила, чем предусмотренные настоящим Законом, то применяются правила международного договора.

Решения межгосударственных органов, принятые на основании положений международных договоров РФ в их истолковании, противоречащем Конституции Российской Федерации, не подлежат исполнению.

1.3. Геолого-промышленные типы месторождений

В теории и практике изучения месторождений широко используется понятие «генетический тип месторождений». *Генетический тип месторождений – это совокупность месторождений полезных ископаемых, имеющих одинаковые физико-химические условия образования, отражающиеся в близком вещественном составе и тождественных геологических условиях образования.*

Для систематизации всего разнообразия месторождений В. И. Смирновым (1989) была создана генетическая классификация, в которой месторождения объединяются в разноуровневные таксоны: серия – группа – класс – подкласс – ряд – формация. Формация полезных ископаемых является наименьшим таксоном генетической классификации. *Формация месторождений полезных ископаемых представляет собой совокупность месторождений, близких по минеральному составу, геологическим условиям размещения и физико-химическим условиям образования.* Генетическая классификация месторождений детально рассматривается при изучении дисциплины «Геология полезных ископаемых».

Природные генетические типы месторождений весьма многочисленны и разнообразны (табл. 1.1), но далеко не все из них играют заметную роль в балансе мировых запасов и добыче полезных ископаемых. Основная масса полезных ископаемых добывается из ограниченного числа природных типов месторождений. Так, железо добывается из месторождений 30, а медь – из месторождений более чем 15 генетических типов, в то время как определяющую роль в балансе запасов и в добыче железных руд играют только 11, а меди – только 6 типов. Поэтому в практике геологоразведочных работ *генетические типы месторождений, занимающие ведущее место в мировом балансе и добыче отдельных видов полезных ископаемых, принято относить к типу геолого-промышленных.*

Согласно В. М. Крейтеру (1969), к промышленным следует относить лишь те природные типы месторождений, которые зарекомендовали себя устойчивыми поставщиками данного вида минерального сырья и обеспечивают не менее 1 % его добычи.

Роль отдельных геолого-промышленных типов месторождений в минерально-сырьевой базе тех или иных полезных ископаемых различна, в связи с чем среди них выделяются главные, на которые приходится выше 5–10 % запасов (или добычи), и второстепенные – обычно менее 2–2,5 %. При этом следует иметь в виду, что в минерально-сырьевой базе отдельных государств ведущими геолого-промышленными типами могут быть такие, которые в мировом балансе запасов и добычи существенной роли не играют, и наоборот. Например, если в минерально-сырьевой базе на долю стратиформных свинцово-цинковых месторождений в карбонатных формациях приходится 15,6 % запасов свинца и 17 % цинка, то в России – только около 2,5 % запасов как свинца, так и цинка.

Таблица 1.1

Общая характеристика генетических групп месторождений полезных ископаемых
(по В. И. Смирнову с дополнениями Р. Г. Ибламинова)

Се- рия	Группа	Геологические условия размещения	Характерные полезные ископаемые
1	2	3	4
А. Эндогенная	I. Магматическая	Комплексы магматических пород	Руды хрома, титана, ванадия, платины, алмазы, нефелин, апатит
	II. Карбонатитовая	Магматические комплексы ультраосновных и щелочных пород	Руды ниобия, циркония, железа; флогопит, апатит
	III. Пегматитовая	Интрузии кислых или щелочных пород, гнейсы и кристаллические сланцы	Руды лития, бериллия, драгоценные камни
	IV. Альбитит-грейзеновая	Эндо- и экзоконтактовые зоны интрузий кислых или щелочных пород, гранито-гнейсы	Руды олова, вольфрама, молибдена
	V. Скарновая	Эндо- и экзоконтактовые зоны интрузий гранитоидов	Руды железа, вольфрама и молибдена, свинца и цинка, бора
	VI. Гидротермальная	Плутонические и вулканические магматические, пронцаемые осадочные и метаморфические породы	Руды золота, меди, полиметаллов, сурьмы и ртути
	VII. Вулканогенно-осадочная	Вулканогенно-осадочные горные породы	Руды меди, свинца, цинка, железа, марганца; пирит

1	2	3	4
Б. Экзогенная	I. Выветривания	Коры выветривания, палеогоризонты подземных вод	Руды никеля, урана, меди, алюминия, самородная сера, глины
	II. Осадочная	Растворы поверхностных и подземных бассейнов, осадки, осадочные горные породы	Нефть, уголь, соли, соды, фосфориты, руды железа, марганца, алюминия
В. Метаморфогенная	I. Регионального метаморфизма	Метаморфические горные породы	Руды железа, золота, урана; мраморы, кварциты, графит
	II. Контактного метаморфизма	Эзоконтактовые зоны интрузивных и эффузивных горных пород	Мрамор, графит, корунд
Г. Импактогенная	I. Протогенетическая	Импактные структуры	Руды золота, урана
	II. Сингенетическая	Импактные структуры	Алмазы, медно-никелевые (?) руды
	III. Эпигенетическая	Импактные структуры	Руды цветных металлов, подземные воды
Д. Радиогенная	Инфильтрационная	Породы-коллекторы	Гелий, радон

Классификация геолого-промышленных типов месторождений базируется также и на требованиях промышленности к минеральному сырью и результатам разведочных работ. Поэтому рудно-формационные и геолого-промышленные типы месторождений могут не совпадать друг с другом.

Знание геолого-промышленных (промышленных) типов месторождений особенно необходимо на ранних стадиях геологоразведочных работ для того, чтобы дать предварительную геолого-экономическую оценку выявленного скопления полезного ископаемого. Скопления полезных ископаемых, не относящиеся к известным геолого-промышленным типам, как правило, не образуют крупных месторождений. Вместе с тем следует иметь в виду, что с течением времени количество геолого-промышленных типов может изменяться. Одни из них утрачивают свое значение в связи с полной отработкой, как это случилось с железорудными месторождениями типа «железных шляп» – зонами окисления колчеданных месторождений Урала. С отработкой этих зон перестал существовать еще один промышленный тип – месторождения

малахита, которым славился Урал. По мере обнаружения и освоения месторождений новых генетических типов, совершенствования технологии и технических средств проведения горных работ появляются новые геолого-промышленные типы. В качестве примера можно привести появление нового геолого-промышленного типа месторождений алюминия. Ранее для получения алюминия использовались только бокситы. Технологические исследования, проведенные во второй половине XX века, показали, что промышленное извлечение алюминия возможно из минерала нефелина. В настоящее время месторождения нефелиновых руд выделены в самостоятельный геолого-промышленный тип, который в России является вторым по значимости источником сырья для получения алюминия.

Однако тот факт, что обнаруженное или изучаемое месторождение относится к известному промышленному типу, совершенно не гарантирует его промышленную значимость. Каждый промышленный тип может быть представлен различными по масштабу объектами – от уникальных по запасам месторождений до незначительных рудопоявлений.

Единые общепринятые принципы классификации геолого-промышленных типов месторождений на сегодняшний день отсутствуют. Одни исследователи за основу классификации берут генетические признаки, другие – морфологию залежей, третьи – состав вмещающих пород или минеральный состав полезных ископаемых. При этом, как правило, классификации геолого-промышленных типов месторождений разрабатываются применительно к каждому виду полезного ископаемого.

Для целей поисков и разведки полезных ископаемых наиболее приемлема классификация промышленных типов месторождений, построенная по рудноформационному принципу. Именно на этом таксономическом уровне генетическая классификация наиболее близко смыкается с геолого-промышленной. Пример промышленной классификации железорудных месторождений приведен ниже (табл. 1.2).

На практике чаще пользуются классификациями геолого-промышленных типов месторождений, приведенными в «Методических рекомендациях по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых, 2007», разработанных Федеральным государственным учреждением «Государственная комиссия по запасам полезных ископаемых» (ФГУ ГКЗ).

Таблица 1.2

Промышленные типы железных руд, их минеральный состав и элементы-примеси
(Методические рекомендации..., 2007)

Тип руды	Главные и характерные рудные минералы	Элементы-примеси в рудах	Типичные месторождения
1	2	3	4
Титаномagnetитовые и ильменит-титаномagnetитовые руды в ультраосновных и основных породах	Титаномagnetит, ильменит, магнетит, самородная платина и платиноиды	<i>Ti, V, Sc, Cu, Co, Ni, S, Pt, Os</i> и др.	Качканарское, Копанское, Первоуральское, Пудожгорское, Чнейское, Бушвельдский комплекс
Бадделеит-апатит-магнетитовые руды в щелочных ультраосновных породах	Магнетит, апатит, бадделеит	<i>P, Zr, Nb, Ta</i>	Ковдорское, Палабора
Магнетитовые руды в осадочных и вулканогенно-осадочных породах	Магнетит, гематит, мартит, пирротин, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, арсенопирит, молибденит, кобальтин, самородные золото и серебро	<i>S, As, Co, Mn, Cu, Se, Te, Pb, Zn, Cd, In, Bi, Mo, Ag, Au, Ge, F, B, Pt</i>	Соколовское, Сарбайское, Качарское, Высокогорское, Гороблагодатское, Абаканское, Шерегешевское, Таштагольское, Таежное
Магномagnetитовые руды в осадочных и пирокластических породах и траппах	Магномagnetит, магнетит, гематит, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит	<i>S, Cu, Zn, V, Au, Hg, B, Na</i>	Коршуновское, Рудногорское, Тагарское, Нерюндинское
Магнетит-гематитовые и гематит-магнетитовые руды в вулканогенно-осадочных породах	Гематит, магнетит, псиломелан, сидерит, пирит, сфалерит, галенит, браунит, гаусманит	<i>Ge, Mn, Mo, Zn, Pb, Au, S, P, B, V</i>	Западно-Каражальское (Казахстан), Холзунское
Железистые кварциты в осадочных и вулканогенно-осадочных породах	Магнетит, гематит, сидерит, пирит, сфалерит, галенит	<i>Ge, Au, Mn</i>	Оленегорское, Костомукшское, Криворожский бассейн, КМА

1	2	3	4
Мартитовые, мартит-гидрогематитовые и гидрогематитовые руды, образовавшиеся по железистым кварцитам	Мартит, гидрогематит, гётит, магнетит, гематит, сидерит, пирит	<i>U</i>	Криворожский бассейн, Белозерское, Висловское, Яковлевское, Михайловское
Сидеритовые и гематит-сидеритовые руды в осадочных породах	Сидерит, гематит, сидероплезит	<i>Mn</i>	Бакальское, Березовское
Бурые железняки, образовавшиеся по сидеритам	Гидрогётит, гётит, сидерит		Бакальское, Березовское, Зигазино-Комаровская группа
Лептохлоритовые и гидрогётитовые оолитовые руды в осадочных породах	Гидрогётит, лептохлорит, псиломелан, пиролюзит	<i>P, Mn, As, V, Bi</i>	Лисаковское, Аятское, Керченский бассейн
Хром-никелевые гётит-гидрогётитовые руды кор выветривания ультраосновных пород	Гётит, гидрогётит, сидерит, нонтронит, хромшпинелиды, пиролюзит, псиломелан	<i>Cr, Co, Ni, V, Mn, Sc, Ga</i>	Серовское, месторождения Орско-Халиловского района

По мере детализации геологических исследований в пределах отдельных геолого-промышленных типов (рудных формаций) могут выделяться подтипы (субформации), фациальные типы, а внутри них – минеральные типы.

1.4. Общие сведения о прогнозных ресурсах и запасах полезных ископаемых

Количество полезного ископаемого в недрах в зависимости от степени достоверности называется прогнозными ресурсами или запасами. В настоящее время действует «Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденная Министерством природных ресурсов РФ (МПР РФ) в 2006 г.

Прогнозные ресурсы – ожидаемое количество полезного ископаемого, оцененное без пространственной геометризаций (без создания регулярной сети наблюдений) на основе совокупности геологических данных. Прогнозные ресурсы твердых полезных ископаемых оцениваются по металлогеническим

(минерогеническим) зонам, бассейнам, рудным районам, полям, рудопроявлениям, флангам и глубоким горизонтам месторождений твердых полезных ископаемых.

Запасы полезного ископаемого – их количество (масса, объем) в недрах, заключенное в пределах геометризованных в процессе оценочных и разведочных работ контуров, т.е. контуров, построенных по данным пройденных по регулярной сети разведочных скважин и/или горных выработок. Запасы твердых полезных ископаемых подсчитываются по результатам геологоразведочных и эксплуатационных работ, выполненных в процессе их изучения и промышленного освоения.

Категории прогнозных ресурсов. По степени достоверности прогнозные ресурсы подразделяются на категории: P_1 , P_2 , P_3 .

Категория P_1 – ресурсы новых рудных тел, рудопроявлений, а также ожидаемые скопления полезного ископаемого, прилегающие к контурам запасов категории C_2 .

Категория P_2 – ресурсы потенциальных месторождений, возможность обнаружения которых основывается на результатах крупномасштабных исследований и проверенных единичными горными выработками и скважинами.

Категория P_3 – ресурсы потенциально перспективных площадей, выявленные в процессе мелко- и среднемасштабных геологосъемочных работ и оцененные по совокупности благоприятных геологических предпосылок и признаков.

Категории запасов. Запасы полезных ископаемых подразделяются на категории: А, В, C_1 , C_2 .

Категория А – запасы участков детализации разведываемых и разрабатываемых месторождений, оконтуренные в соответствии с кондициями скважинами и горными выработками по сети, рекомендуемой ФБУ ГКЗ (Методические рекомендации..., 2007).

Категория В – запасы, участков детализации, оконтуренные в соответствии с требованиями кондиций по сети, рекомендуемой ФБУ ГКЗ.

Категория C_1 – запасы, определенные в соответствии с требованиями кондиций по сети, рекомендуемой ФБУ ГКЗ.

Категория C_2 – запасы, базирующиеся на результатах исследования единичного количества горных выработок и скважин, а также расположенные в зонах экстраполяции запасов более высоких категорий.

1.5. Стадийность геологоразведочных работ

С целью своевременной отбраковки неперспективных объектов и выделения наиболее перспективных, заслуживающих проведения более детальных исследований, геологоразведочные работы ведутся стадийно, т. е. в закономерной последовательности. Стадийность геологоразведочных работ периодически пересматривается. В настоящее время руководствуются стадийностью, утвержденной Министерством природных ресурсов и экологии РФ в 1999 г. в виде «Положения о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые)». Согласно указанному документу геологические исследования проводятся в три этапа, включающих в себя пять стадий.

Схема стадийности геологоразведочных работ (твердые полезные ископаемые)

- 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

Более полная характеристика этапов и стадий ГРП приведена в табл. 1.3. Стадийность ГРП на нефть и газ существенно отличается от стадийности на твердые полезные ископаемые.

Таблица 1.3

Этапы и стадии геологоразведочных работ (твердые полезные ископаемые)
(Положение..., 1999)

Стадия	Объект изучения	Цель работ	Основной конечный результат
1	2	3	4
Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения			
<i>Стадия 1.</i> Региональное геологическое изучение недр	Территория Российской Федерации, ее крупные геолого-структурные, административные, экономические, горнорудные и нефтегазовые 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.	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.	Комплекты обязательных и специальных геологических карт различного назначения масштабов 1 : 1 000 000, 1 : 200 000 и 1 : 50 000; сводные и обзорные карты геологического содержания масштабов 1 : 500 000 и мельче; комплект карт, схем и разрезов глубинного строения недр Российской Федерации и ее регионов; комплексная оценка перспектив изученных территорий с выделением рудных районов и узлов, зон, угленосных бассейнов; определение прогнозных ресурсов категорий P₃ и P₂ ; оценка состояния геологической среды и прогноз ее изменения

1	2	3	4
Этап II. Поиски и оценка месторождений			
<i>Стадия 2.</i> Поисковые работы	Бассейны, рудные районы, узлы и поля с оцененными прогнозными ресурсами категорий P₃ и P₂	Геологическое изучение территории поисков; выявление проявлений полезных ископаемых; определение целесообразности их дальнейшего изучения	Комплексная оценка геологического строения и перспектив исследованных площадей, выявленные проявления полезных ископаемых с оценкой их прогнозных ресурсов по категориям P₂ и P₁ ; оценка возможности их освоения на основе укрупненных показателей; обоснование целесообразности и очередности дальнейших работ
<i>Стадия 3.</i> Оценка месторождений	Проявления полезных ископаемых с оцененными прогнозными ресурсами категорий P₂ и P₁	Геологическое изучение и геолого-экономическая оценка проявлений и месторождений; отбраковка проявлений, не представляющих промышленной ценности	Месторождения полезных ископаемых с оценкой их запасов по категориям C₂ и C₁ , а по менее изученным участкам прогнозных ресурсов категории P₁ ; технико-экономическое обоснование промышленной ценности месторождения

1	2	3	4
Этап III. Разведка и освоение месторождений			
<i>Стадия 4.</i> Разведка месторождения	Месторождения полезного ископаемого с оцененными запасами по категориям C₂ и C₁ и прогнозными ресурсами категории P₁	Изучение геологического строения, технологических свойств полезного ископаемого, гидрогеологических, инженерно-геологических условий отработки месторождения; технико-экономическое обоснование 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, горно-геологические, технологические и другие данные, необходимые для составления технико-экономического обоснования (ТЭО) освоения месторождения; подсчитанные запасы по категориям A , B , C₁ и C₂
<i>Стадия 5.</i> 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

2. ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОМЫШЛЕННУЮ ЦЕННОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Месторождения полезных ископаемых – это сложная многофакторная геолого-экономическая категория. К месторождениям относятся лишь такие скопления полезных ископаемых, из которых при условии рентабельности производства может быть получена товарная продукция. Важнейшими факторами, определяющими промышленную ценность месторождений, являются:

1. Количество запасов.
2. Концентрация запасов.
3. Качество полезного ископаемого.
4. Горнотехнические условия эксплуатации.
5. Изменчивость геолого-промышленных параметров залежей.
6. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия разработки.
7. Физико-географические и экономико-географические условия.
8. Себестоимость товарной продукции, конъюнктура рынка, рентабельность горнодобывающего предприятия.

2.1. Количество запасов

Количество запасов – главный критерий оценки месторождений. Чем больше количество запасов, тем выше промышленная ценность месторождения. Для сравнительной оценки месторождений по количеству запасов используются группировки, в которых месторождения подразделяются на мелкие, средние, крупные и уникальные. Сравнивать, разумеется, можно лишь месторождения одного вида полезного ископаемого.

Широко известной и удобной группировкой месторождений по количеству запасов является группировка В. И. Красникова (табл. 2.1), согласно которой промышленные месторождения подразделяются на мелкие, средние, крупные, уникальные. В этой группировке смежные по запасам месторождения отличаются на порядок.

Мелкие месторождения, как правило, самостоятельного промышленного значения не имеют и могут разрабатываться лишь в особо благоприятных условиях, обеспечивающих рентабельность эксплуатации.

Средние по запасам месторождения могут служить сырьевой базой средних перерабатывающих предприятий.

Крупные месторождения являются сырьевой базой крупных предприятий.

Уникальные месторождения – это очень крупные месторождения, разработка которых определяет конъюнктуру рынка на получаемый из них вид минерального сырья. Это, например, железорудные месторождения: КМА, Криворожское; медно-никелевое месторождение Садбери (США); молибденовое месторождение Кляймакс (Канада); Верхнекамское месторождение солей (Россия); золоторудное месторождение Витватерсранд (ЮАР) и т.д.

Таблица 2.1

Группировка месторождений по количеству запасов
(по В. И. Красникову, 1969)

Полезное ископаемое	Запасы (т) месторождений				
	не имеющих промышлен- ного значения	промышленных			
		мелкие	средние	крупные	уникаль- ные
Железные руды	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$	$n \cdot 10^9$	$n \cdot 10^{10}$
Алюминиевые и магниевые руды – нефелины, алуныты, карналлиты	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$	$n \cdot 10^9$
Алюминиевые и магниевые руды – бокситы, магнезиты; марганцевые руды; хром (в хромите); титан в коренных месторождениях (в металле)	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$	$n \cdot 10^8$
Титан в россыпях, медь, свинец, цинк, никель (в металле)	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$	$n \cdot 10^7$
Олово, вольфрам, молибден, сурьма (в металле)	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$	$n \cdot 10^6$
Уран, торий, ртуть, бериллий (в ме- талле)	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$	$n \cdot 10^5$
Кобальт, тантал, серебро, висмут (в металле)	n	$n \cdot 0$	$n \cdot 10^2$	$n \cdot 10^3$	$n \cdot 10^4$
Золото, платина (в металле)	–	$n \cdot 10^{-1}$	n	$n \cdot 10$	$n \cdot 10^2$

В 2007 г. Правительством РФ была утверждена группировка месторождений по количеству запасов. Актуализированная версия группировки (Постановление Правительства РФ № 335 от 01.03.2023 г.) приведена ниже (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Градации месторождений полезных ископаемых по количеству запасов

Полезное ископаемое	Единица измерения	Запасы месторождений		
		крупных	средних	мелких
1	2	3	4	5
1. Месторождения углеводородного сырья				
Нефть, конденсат*	Млн т	30–300	5–30	1–5
Газ**	Млрд м ³	30–300	5–30	1–5
*Месторождения нефти и конденсата с запасами более 300 млн т относятся к уникальным, менее 1 млн т – к очень мелким; **месторождения газа с запасами более 300 млрд м ³ относятся к уникальным, менее 1 млн м ³ – к очень мелким				
2. Месторождения рудных полезных ископаемых и алмазов				
Железные руды	Млн т	>300	50–300	<50
Марганцевые руды	Млн т	>30	3–30	<3
Хромовые руды	Млн т	>10	1–10	<1
Бериллий	Тыс. т	>10	0,5–10	<0,5
Бокситы	Млн т	>50	5–50	<5
Вольфрам (WO_3) в коренных месторождениях	Тыс. т	>100	10–100	<10
Висмут	Тыс. т	>15	1–15	<1
Германий	Тыс. т	>1,5	0,15–0,5	<0,5
Кобальт	Тыс. т	>15	2–15	<2
Литий (Li_2O)	Тыс. т	>200	50–200	<50
Медь	Тыс. т	>1 000	100–1 000	<100
Молибден	Тыс. т	>50	5–50	<5
Никель	Тыс. т	>200	30–200	<30
Ниобий (Nb_2O_5)	Тыс. т	>300	50–300	<50
Олово в коренных месторождениях	Тыс. т	>50	5–50	<5
Ртуть	Тыс. т	>15	0,7–15	<0,7
Свинец	Тыс. т	>1 000	100–1 000	<100
Стронций (целестин, стронцианит)	Тыс. т	>500	100–500	<100
Сурьма	Тыс. т	>100	10–100	<10
Тантал в коренных месторождениях	Тыс. т	>5	0,5–5	<0,5

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5
Титан в коренных месторождениях	Млн т	>10	3–10	<3
Цезий	Тыс. т	>5	0,5–5	<0,5
Цинк	Тыс. т	>1 000	100–1 000	<100
Цирконий (ZrO_2)	Млн т	>1,5	0,3–1,5	<0,3
Золото в коренных месторождениях	Т	>50	5–50	<5
Серебро	Т	>3 000	500–3 000	<500
Платина в коренных месторождениях	Т	>30	3–30	<3
Радиоактивные металлы	Тыс. т	>20	5–20	<5
Алмазы в коренных месторождениях	Млн кар.	>20	1–20	<1
3. Месторождения нерудных полезных ископаемых, углей, горючих сланцев				
Уголь:				
– коксующийся	Млн т	>300	50–300	<50
– энергетический	Млн т	>500	50–500	<50
– бурый	Млн т	>1 000	100–1 000	<100
Горючие сланцы	Млн т	>1 000	100–1 000	<100
Фосфориты (P_2O_5)	Млн т	>30	10–30	<10
Апатиты (P_2O_5)	Млн т	>50	10–50	<10
Борные руды (B_2O_3):				
– бораты	Млн т	>1,5	0,2–1,5	<0,2
– боросиликаты	Млн т	>20	5–20	<5
Калийные соли	Млн т	>500	100–500	<100
Сера самородная	Млн т	>20	2–20	<2
Сода природная	Млн т	>50	3–50	<3
Соль поваренная:				
– пищевая	Млн т	>300	100–300	<100
– химическая	Млн т	>1 000	200–1 000	<200
Магниевые соли	Млн т	>80	10–80	<10
Сульфат натрия	млн т	>10	5–10	<5
Абразивы:				
– корунд, гранат	Тыс. т	>100	30–100	<30
– наждак	Тыс. т	>300	100–300	<100
Асбест:				
– хризотилковый	Млн т	>15	2–15	<2
– антофиллитовый	Млн т	>40	5–40	<5
– амфиболитовый	Млн т	>5	0,5–5	<0,5
Барит	Млн т	>3	1–3	<1
Брусит	Млн т	>5	2–5	<2

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5
Волластонит	Млн м ³	>3	1–3	<1
Горные породы (для изготовления декоративно-облицовочных материалов)	Млн м ³	>5	2–5	<2
Глины:				
– огнеупорные	Млн т	>25	5–25	<5
– тугоплавкие	Млн т	>50	10–50	<10
– бентонитовые,	Млн т	>15	2–15	<2
– палыгорскитовые				
Графит	Млн т	>15	3–15	<3
Тальк, тальковый камень, пиррофиллит	Млн т	>5	0,5–5	<0,5
Каолины	Млн т	>25	5–25	<5
Бокситы (для производства огнеупоров)	Млн т	>10	3–10	<3
Доломиты (для металлургической и химической промышленности)	Млн т	>100	30–100	<30
Известняки (для металлургической, химической, стекольной, пищевой промышленности)	Млн т	>150	50–150	<50
Кварциты (для производства динаса, ферросплавов, карбида, кремния)	Млн т	>30	5–30	<5
Диатомит, спонгилит	Млн т	>5	1–5	<1
Магнезит	Млн т	>100	10–100	<10
Мраморы (архитектурно-строительные, поделочные, статуарные)	Млн т	>2	0,5–2	<0,5
Пегматиты, полевошпатовое сырье	Млн т	>2	0,5–2	<0,5
Эффузивные породы для производства вспученных материалов	Млн т	>5	1–5	<1
Формовочные материалы	Млн т	>20	5–20	<5
Плавленый шпат	Млн т	>5	1–5	<1
Слюда (мусковит)	Тыс. т	>20	2–20	<2

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5
Слюда (флогопит, вермикулит)	Тыс. т	>1	0,1–1	<0,1
Цеолиты	Тыс. т	>100	0,1–100	<0,1
Гипс, ангидрит	Млн т	>20	5–20	<5
Ювелирные полудрагоценные камни (аквамарин, аметист, берилл, бирюза, хризолит, опал)	Кг	>500	50–500	<50
Ювелирно-поделочные камни (агат, жадеит, лазурит, малахит, нефрит, сердолик, чароит)	Т	>900	200–900	<200
Поделочные камни (змеевик, оникс мраморный, офикальцит, яшма)	Т	>10 000	3 000–10 000	<3 000
Кварц жильный для плавки оптического стекла	Тыс. т	>500	100–500	<100
Кварц жильный для оптического стекловарения	Млн т	>3	0,5–3	<0,5
Кварц жильный для синтеза оптических кристаллов)	Тыс. т	>100	40–100	<40
Пьезооптическое сырье:				
– пьезокварц	Т	>5	1,5–5	<1,5
– горный хрусталь	Т	>500	200–500	<200
– исландский шпат	Т	>8	1–8	<1
– оптический флюорит	Т	>0,5	0,5–0,1	<0,1
Драгоценные камни (изумруд, сапфир, рубин, alexandrite)	Тыс. кар.	>100	10–100	<10
Глаукониты	Млн т	>20	5–20	<5
Стекольные пески	Млн т	>20	>20	<5
Цементное сырье:				
– карбонатная составляющая (известняки, мергели)	Млн т	100	50–100	<50
– глинистая составляющая (глины, суглинки, аргиллиты, глинистые сланцы)	Млн т	>25	5–25	<5
4. Россыпные месторождения рудных полезных ископаемых и алмазов				
Вольфрам	Тыс. т	>15	1–15	<1
Олово	Тыс. т	>10	10–1	<1
Тантал	Тыс. т	>1	0,1–1	<0,1

Окончание табл. 2.2

1	2	3	4	5
Титан:				
– рутил	Млн т	>1	0,1–1	<0,1
– ильменит	Млн т	>5	0,5–5	<0,5
Золото	Т	>3	0,5–3	<0,5
Платина	Т	>3	0,5–3	<0,5
Алмазы	Млн кар.	>5	0,1–5	<0,1
5. Месторождения общераспространенных полезных ископаемых				
Общераспространенные полезные ископаемые	Млн м ³	>5	1–5	<1
6. Подземные воды				
Пресные воды для питьевого, хозяйственно-бытового и технического водоснабжения	Тыс. м ³ /сут.	>200	30–200	<30
Термальные воды для производства тепловой или электрической энергии	Тыс. м ³ /сут.	>30	15–30	<15
Минеральные воды (лечебные и природные столовые):				
– сероводородные, радоновые, кремнистые рассолы	М ³ /сут.	>500	100–500	<100
– углекислые, железистые, содержащие органику, сульфидные, минерализованные различного состава, природные столовые	М ³ /сут.	>300	50–300	<50
– азотные термы	М ³ /сут.	>1500	300–1500	<300
Промышленные воды для извлечения полезных компонентов	Тыс. м ³ /сут.	>30	15–30	<15
7. Месторождения лечебных грязей				
Лечебные грязи	Тыс. м ³	>500	100–500	<100

С целью обеспечения функционирования стратегических отраслей экономики, решения оборонных задач, а также экспорта минерального сырья и продуктов его переработки Правительством РФ (распоряжение № 2473-р от 30.08.2022 г.) утвержден перечень основных видов стратегического минерального сырья, воспроизводство которых обеспечивается приоритетным федеральным финансированием. Перечень содержит 62 вида полезных ископаемых, в том числе 15 редкоземельных металлов. В него входят следующие виды

полезных ископаемых: нефть, природный газ, гелий, уран, марганец, хром, титан, бокситы, медь, свинец, сурьма, олово, цинк, никель, молибден, вольфрам, кобальт; *редкие металлы* (литий, рубидий, цезий, бериллий, скандий); *редкоземельные металлы* (иттрий, лантан, церий, празеодим, неодим, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций); индий, галлий, германий, цирконий, гафний, ванадий, ниобий, тантал, рений, золото, серебро; *платиноиды* (рутений, родий, палладий, осмий, иридий, платина); алмазы, графит, апатитовые руды, соли калийные, шпат плавленый, особо чистое кварцевое сырье, воды подземные.

Актуализация перечня производится не реже чем один раз в три года.

Наряду с полезными ископаемыми, перечисленными в табл. 2.2, имеется значительное количество так называемых *общераспространенных полезных ископаемых*. В основном это строительные материалы и полезные ископаемые, используемые в сельском хозяйстве. Законодательное регулирование поисков, разведки и эксплуатации общераспространенных полезных ископаемых относится к совместному ведению Правительства РФ и правительств субъектов федерации. Перечень общераспространенных видов полезных ископаемых устанавливается для каждого субъекта федерации, а их запасы учитываются территориальными балансами запасов полезных ископаемых. Градация месторождений общераспространенных полезных ископаемых приведена выше (см. табл. 2.2). В качестве примера ниже приведен перечень общераспространенных полезных ископаемых по Пермскому краю.

Перечень общераспространенных полезных ископаемых
по Пермскому краю
(Утвержден распоряжением Минприроды РФ
и правительства Пермского края 07.12 2009 г., №71-п/1-р)

Алевролиты, аргиллиты (кроме используемых в цементной промышленности и для производства минеральной ваты и волокон).

Ангидрит (кроме используемого в цементной промышленности).

Магматические и метаморфические породы (кроме используемых в цементной промышленности, для производства огнеупорных, кислотоупорных материалов, минеральной ваты и волокон).

Галька, гравий, валуны.

Гипс (кроме поделочного, используемого для цементной промышленности и в медицинских целях).

Глины (кроме бентонитовых, палыгорскитовых, огнеупорных, кислотоупорных, используемых для фарфорово-фаянсовой, металлургической, лакокрасочной и цементной промышленности, каолина).

Доломиты (кроме используемых в металлургической, стекольной и химической промышленности).

Известковый туф, гаж.

Известняки (кроме используемых в цементной, металлургической, химической, стекольной, целлюлозно-бумажной и сахарной промышленности, а также для производства глинозема, минеральной подкормки животных и птицы).

Кварцит (кроме динасового, флюсового, железистого, абразивного, а также используемого для производства карбида кремния, кристаллического кремния и ферросплавов).

Мергель (кроме используемого в цементной промышленности).

Облицовочные камни (кроме высокодекоративных и характеризующихся преимущественным выходом блоков 1–2 группы).

Пески (кроме формовочных, стекольных, абразивных; используемых в фарфорово-фаянсовой, огнеупорной и цементной промышленности, а также содержащих рудные минералы в промышленных концентрациях).

Песчаники (кроме динасовых, флюсовых; используемых в стекольной промышленности; для производства карбида кремния, кристаллического кремния и ферросплавов).

Песчано-гравийные, гравийно-песчаные, валунно-гравийно-песчаные, валунно-глыбовые породы.

Сапропель (кроме используемого в лечебных целях).

Сланцы (кроме горючих и используемых в цементной промышленности).

Суглинки (кроме используемых в цементной промышленности).

Торф (кроме используемого в лечебных целях).

2.2. Концентрация запасов

Концентрация запасов – это компактность размещения залежей полезного ископаемого в пределах минерализованной зоны месторождения.

Концентрация запасов зависит от числа тел полезных ископаемых, их формы и размеров. При прочих равных условия экономически выгоднее вести разработку месторождений с небольшим числом рудных тел изометричной формы. При низкой концентрации запасов требуется проходка большого количества разведочных, нарезных, подготовительных и очистных выработок, поскольку увеличиваются потери и разубоживание полезного ископаемого.

На месторождениях, сложенных мелкими линзами полезного ископаемого, концентрация запасов оценивается с помощью показателя «*продуктивность*» – количество запасов, приходящихся на единицу площади месторождения или на единицу его глубины.

На месторождениях с прерывистым характером оруденения (гнездовым, шпирово-гнездовым, струйчатым, полосчатым) концентрацию запасов принято оценивать с помощью коэффициентов рудоносности, используемых при подсчете запасов. *Коэффициент рудоносности* – это отношение мощности, площади или объема рудных участков к мощности, площади или объему минерализованной зоны. Соответственно различают линейный, площадной и объемный коэффициенты рудоносности. При разведке месторождений обычно пользуются линейным коэффициентом рудоносности, так как по линейным разведочным пересечениям залежей определение площадного и объемного коэффициентов часто практически невозможно. Полагается, что линейный коэффициент рудоносности является достаточно надежной оценкой площадного и объемного коэффициентов. Линейный коэффициент рудоносности K_p определяется по формуле

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n l_p}{\sum_{i=1}^n l_p + \sum_{i=1}^n l_n},$$

где l_p – длина рудных подсечений, l_n – длина нерудных подсечений разведочными выработками.

Определение коэффициентов рудоносности и их учет при подсчете запасов целесообразны только в тех случаях, когда безрудные участки не поддаются оконтуриванию при разведке, а также при невозможности селективно добыть их или оставить в целиках при разработке месторождения. Во всех остальных случаях подсчет запасов производится в целом для рудной толщи, но с учетом снижения содержания полезного компонента на величину, соответствующую мощности, площади или объему включаемых в подсчет запасов безрудных участков.

2.3. Качество полезного ископаемого

Качество полезного ископаемого – это его химические, минералогические, технологические и технические свойства, определяющие возможность использования в народном хозяйстве. Качество полезных ископаемых определяется при опробовании.

Химический состав полезных ископаемых. Содержание главных, попутных, вредных компонентов является основным свойством большинства рудных и многих нерудных полезных ископаемых. По содержанию главных компонентов руды подразделяются на сорта: богатые, рядовые, бедные. Примеры градации руд по содержанию главных компонентов приведены в табл. 2.3. Для

большинства видов полезных ископаемых такая градация ведется в пределах геолого-промышленного типа. Ценность полезного ископаемого увеличивается, если в нем содержатся попутные полезные компоненты.

Таблица 2.3

Примеры градации полезных ископаемых
в зависимости от содержания главного компонента
(по Е. О. Погребницкому и др., 1977)

Полезное ископаемое, главный компонент	Единица измерения	Качество руд		
		богатых	рядовых	бедных
Железная руда, Fe	Масс. доля, %	>50	30–50	<30
Медная руда, Cu	Масс. доля, %	>3	1–3	<1
Полиметаллическая руда, $Pb + Zn$	Масс. доля, %	>7	4–7	<4
Вольфрам, WO_3	Масс. доля, %	>1	0,3–1	< 0,3
Молибден, Mo	Масс. доля, %	>0,5	0,2–0,5	< 0,2
Олово: – коренные месторождения, – россыпи	Масс. доля, % кг/м ³	>3 >10	1–3 1–10	<1 <1
Золото: – коренные месторождения – россыпи	г/т г/м ³	>10 >5	5–10 1–5	<5 <1
Флюорит, CaF_2	Масс. доля, %	>50	35–50	< 5
Фосфориты, P_2O_5	Масс. доля, %	>20	10–20	<10
Уран, U	Масс. доля, %	>0,3	0,1–0,3	<0,1

Общая тенденция развития горнорудного производства заключается в том, что в разработку вовлекаются месторождения со все более низкими содержаниями полезных компонентов. Количество суммарных запасов месторождений, сложенных бедными рудами, несравненно больше, чем количество суммарных запасов месторождений богатых руд. Месторождения богатых руд не в состоянии обеспечить все возрастающие потребности развивающейся экономики в минеральном сырье. Однако использование бедных руд для получения товарного продукта требует их обогащения, т.е. увеличения материальных и трудовых затрат.

В качестве примера можно привести использование магнетитовых руд. Богатые руды с содержанием железа более 50 % после окускования могут использоваться в доменном процессе. Руды, имеющие концентрацию железа менее 50 %, перед использованием требуют обогащения и агломерации, что приводит к увеличению себестоимости товарной продукции.

Агломерация – это процесс получения более крупных кусков (агломерата) из мелкой руды путем спекания ниже температуры плавления с топливом (коксом, антрацитом, древесным углем).

Селективная выемка отдельных блоков богатых руд, залегающих среди средних по качеству и бедных руд, при современных системах отработки месторождений, использующих массовое обрушение, обычно нерентабельна. Взорванная руда обычно представляет собой механическую смесь обломков разного размера, состоящую из богатых, рядовых и бедных руд, которая нуждается в обогащении. С целью подачи на обогатительную фабрику однородного материала эта рудная масса подвергается грохочению и шихтовке.

Грохочение – это процесс разделения обломочного материала на фракции по крупности кусков путем просеивания на грохотах (ситях).

Шихтовка – это смешивание разных сортов руды для придания смеси определенных технологических свойств, улучшающих обогащение.

Современные системы разработки месторождений и обогащения руд, присутствие в рудах компонентов–полезных примесей, благоприятная транспортно-энергетическая инфраструктура позволяют рентабельно эксплуатировать месторождения железа даже с очень низким качеством руд. Например, среднее содержание железа в рудах Гусевогорского титаномагнетитового месторождения, входящего в состав Качканарской группы, составляет всего 16,6 % (бортное содержание 14 %). Тем не менее месторождение рентабельно эксплуатируется.

Минеральный состав. Минеральный состав и текстурно-структурные особенности рудных полезных ископаемых определяют технологию их переработки (в первую очередь, обогащения), а нерудных – их потребительские свойства. По минеральному составу выделяются технологические типы полезных ископаемых, требующие различных схем переработки. Текстурно-структурные особенности (особенно размер минеральных выделений) влияют на выбор способа переработки полезного ископаемого, на извлечение концентрата из исходного сырья и концентрацию компонентов в концентрате. Для нерудных полезных ископаемых (слюда, асбест, драгоценные и полудрагоценные камни и др.) размер минеральных выделений часто является одной из основных характеристик качества, определяющих их ценность.

Технологические свойства. Добытое полезное ископаемое часто не пригодно для непосредственного использования и не является товарным продуктом. Оно требует переработки, в том числе обогащения. Технологические свойства – это свойства, определяющие способ и процесс переработки полезного ископаемого. Они обусловлены химическими, минералогическими и физическими особенностями полезных ископаемых.

Как указано выше, технологические типы полезных ископаемых, требующие разных схем переработки, выделяются, в первую очередь, по минеральному составу руд. Так, по различным схемам обогащаются железные руды, отличающиеся по минеральному составу: магнетитовые, гематит-магнетитовые, полуокисленные мартитовые и полумартитовые, окисленные бурожелезняковые, сидеритовые. Основным способом обогащения магнетитовых руд является магнитная сепарация (сухая и мокрая). Гематит-магнетитовые руды обогащаются магнитной сепарацией с последующей флотацией или гравитационными методами. При обогащении окисленных бурожелезняковых руд, а также полуокисленных мартитовых и полумартитовых руд вначале осуществляют их промывку, а кондиционные по содержанию железа концентраты получают магнитной сепарацией с предварительным обжигом, гравитационными методами или флотацией. Основным способом обогащения сидеритовых руд является обжиг.

Технологические исследования полезного ископаемого включают выбор способа и режима переработки (обогащения), определение требуемого количества воды, реагентов, электроэнергии и т.п., количества и качества товарной продукции (концентрата), затрат и себестоимости товарной продукции.

Технические свойства. К техническим относятся физико-механические свойства полезных ископаемых. Для большинства рудных месторождений основными техническими свойствами являются:

- объемная масса (плотность полезного ископаемого в естественном состоянии);
- влажность (массовая доля природной влаги в полезном ископаемом);
- коэффициент разрыхления (коэффициент, отражающий степень увеличения объема полезного ископаемого в результате его разрыхления, обусловленного добычными работами).

Для нерудных полезных ископаемых эти свойства весьма специфичны и зависят от вида полезного ископаемого и сфер его применения. Технические свойства для нерудных полезных ископаемых часто являются важнейшими характеристиками качества, определяющими их потребительские свойства.

Например, алмазы в зависимости от декоративных свойств, массы и размеров кристаллов подразделяются на девять категорий. Алмазы 1–2-й категорий относятся к ювелирным, а 3–9-й – к техническим. Кроме того, в зависимости от сферы применения они подразделяются на 36 групп.

Для глин основными качественными характеристиками, определяющими сферы их использования, являются: пластичность, набухаемость, усадка, спекаемость, огнеупорность, вспучиваемость, адсорбционная способность, окраска до и после обжига, связующая способность, санитарно-гигиенические показатели. Месторождения глин в зависимости от качественных характеристик подразделяются на четыре группы: 1) легкоплавкие преимущественно гидрослюдистые глины (огнеупорность ниже 1350 °С), широко используемые в строительстве, в том числе для изготовления керамического кирпича, цемента, черепицы, дренажных труб, гончарной посуды, керамзита; 2) тугоплавкие глины (огнеупорность 1350–1580 °С) с существенным содержанием каолинита, и применяемые главным образом для производства строительной и санитарно-технической керамики, кислотоупорных изделий; 3) огнеупорные глины (с огнеупорностью выше 1580 °С), имеющие гидрослюдисто-каолиновый состав и применяемые в основном для производства огнеупорных изделий и материалов; 4) адсорбционные глины, называемые по преобладающему минералу монтмориллонитовыми (бентонитовыми), палыгорскитовыми или сепиолитовыми; обладая повышенной связующей способностью, адсорбционной и каталитической активностью, способностью образовывать в воде устойчивые суспензии такие глины используются для очистки нефтепродуктов, масел, вин, приготовления буровых растворов, в природоохранных целях и пр.

2.4. Горнотехнические условия эксплуатации месторождения

Горнотехнические условия эксплуатации определяют выбор способа (открытый, подземный или комбинированный) и системы разработки месторождения. Они включают следующие характеристики:

- условия залегания залежей полезных ископаемых;
- мощность залежи и ее устойчивость;
- длина тела полезного ископаемого;
- глубина залегания, коэффициент вскрыши;
- газоносность, пневмокониоз-опасность.

Условия залегания (угол падения, тектоническая нарушенность). Угол падения залежей в значительной степени определяет выбор системы разработки месторождения (в первую очередь, подземной). По величине угла падения различают залегание:

- 1) горизонтальное и весьма пологое ($0-5^\circ$);
- 2) пологое ($5-25^\circ$);
- 3) наклонное ($25-45^\circ$);
- 4) крутое ($45-60^\circ$);
- 5) весьма крутое ($60-90^\circ$).

Пликативно-дизъюнктивная тектоническая нарушенность залежей осложняет ведение подготовительных и очистных работ, приводит к увеличению потерь и разубоживания полезного ископаемого.

Мощность залежи и ее устойчивость. По величине мощности в горном деле принято выделять залежи:

- 1) тонкие ($<1,0 \div 1,5$ м);
- 2) средние ($1,0-1,5 \div 3-4$ м);
- 3) мощные ($3-4 \div 8-10$ м);
- 4) весьма мощные ($8-10 \div 50$ м);
- 5) сверхмощные (>50 м).

По степени устойчивости мощности залежи делят:

- 1) на устойчивые, непрерывно протягивающиеся и имеющие рабочую мощность в пределах всего шахтного поля или месторождения;
- 2) относительно устойчивые, имеющие нерабочую мощность не более чем на 25 % площади месторождения;
- 3) неустойчивые (прерывистые), имеющие нерабочую мощность на 25–50 % площади месторождения;
- 4) крайне неустойчивые, имеющие нерабочую мощность на более 50 % площади месторождения.

Разработка залежей, имеющих большую и устойчивую мощность, более эффективна по сравнению с эксплуатацией тонких и неустойчивых.

Важнейшим кондиционным требованием, предъявляемым к залежам полезных ископаемых, является *минимальная промышленная мощность*. Она представляет собой минимальную мощность тела полезного ископаемого, при которой разработка его еще экономически целесообразна. На участках, где залежь имеет мощность меньше минимально промышленной, при ее эксплуатации будет извлекаться значительное количество пустых пород. Это приведет к существенному разубоживанию полезного ископаемого и, как следствие, к экономической неэффективности разработки залежи.

Длина тела полезного ископаемого. По длине залежи полезных ископаемых делятся:

- 1) на крупные (>1000 м);
- 2) средние ($100-1000$ м);
- 3) мелкие (<100 м).

Группировки тел полезных ископаемых по мощности и длине учитываются при установлении группы сложности месторождения для целей разведки, а также при выборе длины секций проб в горных выработках и скважинах.

Глубина залегания, коэффициент вскрыши. Глубина залегания тела полезного ископаемого определяет способ разработки месторождения: открытый, подземный или комбинированный.

При неглубоком залегании тел полезных ископаемых открытый способ более эффективен по сравнению с подземным. Экономическая эффективность открытой разработки определяется соотношением объемов (масс) вскрыши и полезного ископаемого.

Вскрыша – это пустые породы, которые необходимо удалить с залежи полезного ископаемого, чтобы обнажить ее для добычи. По мере увеличения глубины разработки экономическая эффективность открытого способа уменьшается в связи с необходимостью удалять все большее количество вскрышных пород.

Коэффициент вскрыши – это отношение количества вскрышных пород, приходящихся на единицу добытого или подлежащего добыче полезного ископаемого при открытом способе разработки месторождения. Количество вскрышных пород и полезных ископаемых измеряется в единицах массы или объема ($т/т$; $м^3/м^3$; $м^3/т$).

Как показывает опыт, разработка месторождений открытым способом экономически эффективна при следующих максимально допустимых значениях коэффициента вскрыши:

- строительные материалы – 3;
- каменный уголь – 6;
- руды черных металлов – 10;
- руды цветных металлов – 40.

В мировой практике известны карьеры глубиной 500 м и более. Самым глубоким в мире карьером является «Каньон Бингхем» (рис. 2.1) в штате Юта США (Kennecott Bingham Canyon Mine). Глубина карьера 1200 м, длина 4000 м. Карьер с 1863 года разрабатывает меднопорфировое месторождение, приуроченное к монцонитам. Ежегодно в нем добывается порядка 270 тыс. т меди и 15 т золота.

Самым глубоким карьером в России является карьер «Удачный» по добыче алмазов (Якутия), имеющий глубину 640 м. В настоящее время отработка открытым способом завершена, но продолжают эксплуатационные работы шахтным способом на глубине 1400 м.

Максимальная глубина подземной разработки в настоящее время достигает 4000 м и более. Наиболее глубокие шахты мира: «Тау-Тона» и «Витватерсранд» (ЮАР), имеющие глубину порядка 5 000 м. Температура воздуха в них достигает 60 °С. В шахтах ведется добыча золота.



Рис. 2.1. Самый глубокий в мире карьер «Каньон Бингхем» (США, шт. Юта)

В России самой глубокой (1 550 м) является шахта «Черемуховская-Глубокая», которая ведет разработку Североуральского месторождения бокситов (Свердловская область).

Серьезную проблему для работников горнорудных предприятий представляет пневмокониоз. *Пневмокониоз* (др.-гр. *пнеуμον* – легкие, *konіa* – пыль) – группа заболеваний легких, вызванных длительным вдыханием производственной пыли; относится к профессиональным болезням. Встречается у рабочих горнорудной, угольной, машиностроительной и некоторых других отраслей промышленности. В зависимости от состава вдыхаемой пыли различают несколько видов пневмокониоза: силикоз, вызванный вдыханием пыли, содержащей большое количество свободного диоксида кремния; силикатоз (от пыли силикатов, т. е. веществ, содержащих диоксид кремния, связанный с другими элементами, например алюминием, магнием); асбестоз – от асбестовой пыли; талькоз – от тальковой пыли; антракоз – от каменноугольной пыли; сидероз – от пыли железа; силикоантракоз – от смешанной пыли диоксида кремния и каменного угля и др.

2.5. Изменчивость геолого-промышленных параметров залежей

Изменчивость геолого-промышленных параметров влияет:

- на достоверность результатов разведочных работ;
- правильность проектных решений по эксплуатации месторождения;
- степень достоверности показателей планирования количества и качества добываемого полезного ископаемого.

Высокая изменчивость мощности тел полезных ископаемых, их контуров, интенсивная тектоническая нарушенность, высокая пространственная изменчивость содержаний главных компонентов и т.п. обуславливают необходимость проведения разведочных работ по густой сети. Это приводит к существенному ухудшению экономических показателей разработки, в частности, к увеличению потерь и разубоживания полезного ископаемого.

Оценка изменчивости геолого-промышленных параметров ведется геометрико-статистическими методами. Применяются разнообразные характеристики изменчивости, с помощью которых оцениваются амплитудная, частотная или амплитудно-частотная изменчивость параметров. В качестве меры относительной амплитудной изменчивости до сих пор еще широко используется коэффициент вариации (табл. 2.4):

$$V = \frac{S}{\bar{x}} 100\%,$$

где V – коэффициент вариации; S – среднееквадратическое отклонение; $\bar{x}$ – среднее значение параметра.

Приведенная в табл. 2.4 группировка изменчивости геолого-промышленных параметров с помощью коэффициентов вариации используется при определении расстояний между пробами, разведочными пересечениями, при установлении значений коэффициентов k в формуле обработки проб и др. Отметим, что в «Методических рекомендациях..., 2007» ранее принятое деление распределения компонентов по характеру изменчивости на весьма равномерный и равномерный откорректировано. Все компоненты, имеющие изменчивость менее 40 %, рекомендуется относить к равномерному типу.

Таблица 2.4

Группировка изменчивости геолого-промышленных параметров
по значениям коэффициентов вариации
(по В. М. Крейтеру, 1961)

Характер распределения компонентов и виды полезных ископаемых	Коэффициент вариации, %	Группа сложности месторождения для целей разведки
1. Весьма равномерный: угли, горючие сланцы, осадочные железные руды, фосфо- риты, соли, известняки	<20	1-я
2. Равномерный: соли, сера, глины, марганец, эндогенные железные руды	20–40	1-я
3. Неравномерный: <i>Pb, Zn, Cu, Ni, W, Sn, Mo</i>	40–100	2-я
4. Весьма неравномерный: руды <i>Sn, W, Mo, Au</i> , редких и рассеянных элементов	100–150	3-я
5. Крайне неравномерный: некоторые руды <i>Au</i> , редких и рассеянных элементов	>150	4-я

2.6. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия разработки

Проникновение поверхностных и подземных вод в горные выработки осложняет ведение эксплуатационных работ, требует организации часто весьма дорогостоящего водоотлива. При больших водопритоках в горные выработки разработка месторождения может оказаться вообще невозможной. В зависимости от объемов притоков подземных вод в горные выработки месторождения по сложности гидрогеологических условий разработки подразделяются на четыре группы (табл. 2.5). При этом учитываются также глубина разработки и концентрация минеральных веществ в водах, которые могут оказывать агрессивное воздействие на машины и оборудование.

Особую опасность при разработке месторождений представляют такие явления, как присутствие напорных подземных вод, связь поверхностных вод с подземными, катастрофическая разгрузка статических вод карстовых полостей и т.п.

Серьезные проблемы возникают при катастрофических притоках подземных вод, которые могут полностью затопить горные выработки и даже уничтожить месторождение. Особенно остра эта проблема на месторождениях солей. За последние 100 лет в мире затоплено свыше 80 соляных шахт: в Германии – 15, в Канаде – 15.

Таблица 2.5

Классификация месторождений
по сложности гидрогеологических условий разработки
(Нормы технологического проектирования
горнодобывающих предприятий..., 2014)

Группа сложности	Глубина разработки, м	Ожидаемые притоки подземных вод, м ³ /ч	Концентрация минеральных веществ в водах, г/м ³
I	200–400	<500	<1
II	500–600	500–1000	1–10
III	>600	>1000	10–50
IV	>1 000	>1 000	>50

На Верхнекамском месторождении калийных солей с начала разработки (1925 г.) произошло три крупных аварии. В 1986 году затоплена шахта БКРУ-3, в 1995 г. по этой же причине остановлена работа шахты СКРУ-2, в 2006 г. затоплен рудник БКРУ-1 (рис. 2.2).

Для того чтобы экономически эффективно вести разработку часто, особенно на месторождениях общераспространенных полезных ископаемых, подсчет запасов и последующая эксплуатация производится только до зеркала грунтовых вод. Это позволяет вести работы по добыче без организации водоотлива.



Рис. 2.2. Верхнекамское месторождение солей.
Провал над затопленной шахтой БКРУ-1

Разработку месторождений осложняют слабая устойчивость горных пород и руд, сдвигание, пластическое течение, «стреляние» горных пород, обезвоживание водоносных горизонтов в процессе разработки, проявления горных ударов, развитие на площади месторождения многолетней мерзлоты и др. Для предотвращения возможных отрицательных последствий указанных явлений и процессов требуется проведение специальных работ, которые могут существенно удорожить стоимость эксплуатации месторождения.

2.7. Физико-географические и экономико-географические условия

Существенное влияние на экономическую эффективность разработки месторождения могут оказывать:

- климатические условия;
- рельеф местности;
- наличие водных ресурсов;
- наличие местных стройматериалов;
- развитость транспортно-энергетической инфраструктуры;
- населенность;
- наличие квалифицированной рабочей силы;
- экономическая освоенность территории,
- наличие предприятий – потребителей товарной продукции;
- экологические последствия, обусловленные принятой схемой разработки месторождения.

2.8. Себестоимость товарной продукции, конъюнктура рынка, рентабельность предприятия

Все вышерассмотренные факторы оказывают влияние на себестоимость товарной продукции, получаемой из добытого минерального сырья. Очевидно, что экономически эффективно горнодобывающее предприятие может работать лишь при условии превышения рыночной цены над себестоимостью товарной продукции. С учетом налогов именно эти два экономических показателя – себестоимость и цена – в конечном итоге и определяют рентабельность работы предприятия. Ухудшение конъюнктуры рынка и соответственно снижение цены на товарную продукцию могут привести к банкротству предприятия и, как следствие, к его закрытию или временной консервации.

3. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

3.1. Общие положения

Прогнозирование полезных ископаемых представляет собой научное предвидение перспективных на обнаружение месторождений площадей, самих месторождений, их важнейших геолого-промышленных параметров на основе закономерностей строения и образования геологических объектов и проводимых на территории геологоразведочных работ. Объектами изучения при геологическом прогнозировании являются участки недр, на которых по совокупности геологических, минералого-геохимических, геофизических и других данных могут быть обнаружены месторождения полезных ископаемых.

3.1.1. Минерагеническое районирование земной коры

Основу прогнозирования месторождений полезных ископаемых составляет районирование земной коры в соответствии с выделяемыми минерагеническими таксонами. При этом каждое минерагеническое подразделение понимается как блок земной коры до определенной глубины. В отечественной геологии в настоящее время используется несколько близких по содержанию иерархических схем. Важным является то, что при выделении минерагенических таксонов в большинстве схем сохранен принцип соответствия их тектоническим или близким к ним по содержанию структурно-формационным таксонам (табл. 3.1).

Иерархическое строение геологических объектов определяет всю стратегию геологоразведочных работ, заключающуюся в их стадийности. При этом по завершению каждой стадии геологоразведочных работ проводится комплексный геологический анализ исследуемой территории, на основе которого производится выделение площадей (объектов), заслуживающих более детального изучения.

Таблица 3.1

Система минерагенических подразделений
(Методическое руководство по составлению... геологической карты РФ
масштаба 1:1 000 000 третьего поколения, 2008)

Твердые полезные ископаемые		Горючие полезные ископаемые	
Линейно вытянутые объекты	Субизометричные объекты	Линейно вытянутые объекты	Субизомет- ричные объекты
Минерагенический пояс ----- Минерагеническая мегазона	Минерагеническая провинция ----- Минерагеническая субпровинция	----- Пояс углеобразования	Нефтегазо- носная, угольная провинция
Минерагеническая зона (бассейн соле- носный, фосфорито- носный и др.)	Минерагеническая область (бассейн соленосный, фос- форитоносный и др.)	Угольный, горюче- сланцевый бассейн	Область нефтегазо- носная (угольный, горючеслан- цевый бас- сейн)
Рудоносная зона	Рудный район (узел)	Район нефтегазоносный, угольный, горючесланцевый	
Рудная зона	Рудное поле	Зона нефтегазонакопления, угленакопления	
Месторождение		Месторождение	

Минерагенический пояс, минерагеническая провинция – крупная, содержащая полезные ископаемые площадь в сотни тысяч–первые миллионы квадратных километров, соответствующая основным (трансрегиональным) структурным единицам земной коры – складчатым поясам и платформам (или их крупным сегментам). В океанических блоках им могут соответствовать островодужные, срединно-океанические и другие системы. В пределах минерагенических провинций и поясов иногда выделяются крупные (первые сотни тысяч квадратных километров) их части – соответственно *субпровинции* и *мегазоны*, отличающиеся от смежных частей видовым составом полезных ископаемых и длительностью их формирования (количеством минерагенических эпох, этапов). Этому рангу примерно соответствуют и *пояса углеобразования*.

Минерагеническая зона – линейно вытянутая площадь размером в десятки–первые сотни тысяч квадратных километров, соответствующая субрегиональным элементам тектонического (или структурно-формационного) районирования, история геологического развития которой определила тот или

иной тип ее минерагенической специализации. Для минерагенических подразделений, аналогичных по размерам, но не имеющих отчетливо выраженной линейности, применяется термин «*минерагеническая область*». В минерагенических поясах зоны в совокупности выполняют, как правило, все их пространство и имеют общие со смежными зонами участки границ. Для платформенных провинций зоны (или области), обычно отвечающие тем или иным «горизонтам» накопления полезных ископаемых, «дискретны» и могут пересекаться в плане. Реально же рудоносность минерагенических зон и областей резко неравномерна по площади и проявляется в виде рудных узлов и районов, локализованных в них автономно (дискретно). Но при этом они почти полностью определяют их суммарную продуктивность. К этому же рангу относятся *угольные, горючесланцевые, соленосные, фосфоритоносные* и другие бассейны.

Рудный район или (в линейном варианте) *рудоносная зона* – площадь ($n \cdot 10^3 - 10^4$ км²) развития отчетливых признаков рудоносности, включающая несколько месторождений и значительное число благоприятно сочетающихся минерагенических факторов (представленных обычно несколькими рудоформирующими системами) и отличающаяся более высокой рудонасыщенностью по сравнению с окружающими территориями; включает, как правило, ряд пространственно сближенных однотипных рудных узлов и полей. Контуры рудных районов и рудоносных зон определяются сочетанием естественных границ (геологических, геохимических, геофизических, геоморфологических и пр.). Термин *угольный район* применяется как к линейным, так и к субизометричным площадям.

Рудный узел – аномально рудоносный участок земной коры площадью в сотни ($n \cdot 10^2 - 1,5 \cdot 10^3$) км², имеющий относительно изометричную или неправильную форму, образованный локальным сочетанием благоприятных минерагенических факторов, проявленных в одной или нескольких рудоформирующих системах (осадочных, магматических, гидротермально-метасоматических и др.), вмещающий совокупность пространственно сближенных рудных объектов (или рудных полей), среди которых есть как минимум одно месторождение. Как и в рудных районах, контуры рудных узлов очерчиваются естественными (геологическими или дизъюнктивными) границами или их сочетаниями. Рудные узлы, как и рудоформирующие системы, могут быть моно- и полиэлементными (комплексными), моно- и полихронными. Для линейных в плане минерагенических подразделений данного ранга рекомендуется использоваться в геологической практике термин *"рудная зона"*.

Рудное поле (*поле месторождений полезных ископаемых*) – это часть рудного района размером в несколько десятков квадратных километров. Рудоносность рудных полей определяется сочетанием пород определенной

формационной и фациальной принадлежности, локальных тектонических элементов, зон метасоматических изменений. Рудные поля характеризуются скоплением месторождений, рудопроявлений, пунктов минерализации определенного рудно-формационного типа. Для перспективных рудных полей, на которых еще не обнаружены месторождения, применяется термин *«потенциальное рудное поле»*.

Месторождение. Как следует из определения, приведенного в разделе 1, это понятие не является чисто геологическим. Месторождение полезных ископаемых – это геолого-экономическая категория. Площадь месторождений, как правило, составляет несколько квадратных километров. Они обычно приурочены к отдельным элементам геологического строения или к их сочетанию.

Поисковый (перспективный) участок – структурно-обособленная площадь рудного поля размером в несколько квадратных километров, в пределах которой развиты рудовмещающие породы, содержащие признаки промышленного оруденения. Поисковый участок эквивалентен потенциальному месторождению.

Прогнозируемые (потенциальные) рудные узлы (РУП) или прогнозируемые (потенциальные) зоны нефтегазонакопления (ЗНГНП) выделяются как участки (блоки) земной коры, характеризующиеся наличием благоприятных признаков (для твердых полезных ископаемых в обязательном порядке – проявлений) и предпосылок на обнаружение полезных ископаемых, но отсутствием установленных месторождений. Аналогичным образом выделяются прогнозируемые (потенциальные) ареалы угленакопления и минеральных вод и другие минерагенические таксоны.

При нефтегазогеологическом районировании в качестве основных выделяются следующие перспективные территории.

Нефтегазоносная провинция – площадь распространения ассоциации смежных нефтегазоносных областей с общими чертами истории геологического развития и строения, приуроченная к отложениям большого стратиграфического диапазона (до нескольких эратем) в пределах крупных региональных морфо- и палеоструктур (антеклизы, синеклизы, краевые прогибы, авлакогены, внутригеосинклинальные и межгорные впадины или их системы) или различных их сочетаний, вплоть до охвата всей или значительной части платформы. В последнем случае возможно употребление термина *“мегапровинция”*.

Нефтегазоносная область – часть территории нефтегазоносной провинции (или самостоятельная нефтегазоносная область в случае обособленного ее расположения), отличающаяся общностью геологического развития и условий нефтегазонакопления, определенным набором нефтегазоносных

комплексов и приуроченная к отдельным или различным сочетаниям крупных (свод, мегавал, впадина, мегапрогиб) или даже к крупнейшим (антеклиза, синеклиза, региональный или краевой прогиб, авлакоген, региональная ступень, межгорная впадина, срединный массив) структурным формам (современным или реконструируемым).

Нефтегазоносный район – часть территории нефтегазоносной области (или провинции; в случае обособленного расположения – самостоятельный нефтегазоносный район), образующая частично или полностью общую среднюю (куполовидное поднятие, вал, антиклиналь, котловину, прогиб, синклиналь, моноклиналь, седловину) или крупную (свод, мегавал, совокупность синклиналей, моноклиналь, седловину) структуру или различные их сочетания, отличающаяся определенным фазовым составом скоплений (месторождений) и общностью условий аккумуляции углеводородов, литологическими особенностями разреза и набором продуктивных горизонтов (групп пластов).

Зона нефтегазонакопления (ЗНГН) – часть пространства нефтегазоносных провинций, областей или районов, концентрация скоплений углеводородов в пределах которой контролируется сочетанием благоприятных для нефтегазонакопления тектонических, литологических, стратиграфических, гидрогеологических обстановок.

3.1.2. Виды геологического прогноза

В соответствии с выделяемыми разномасштабными минерагеническими таксонами принято выделять и разномасштабные уровни прогнозирования полезных ископаемых: планетарный, региональный, локальный и детальный.

Планетарный прогноз представляет собой глобальное обобщение материалов по размещению полезных ископаемых, включающее минерагеническое картографирование в масштабах 1 : 2 500 000 и мельче. Минерагеническому картографированию предшествует составление геологических карт и карт размещения полезных ископаемых соответствующих масштабов. В результате этих обобщений уточняется строение и металлогеническая специализация провинций, что, в свою очередь, служит основой для выделения минерагенических *субпровинций* и *мегазон*, их оценки на обнаружение полезных ископаемых.

Региональный прогноз имеет разноуровневый характер, что определяется уровнем генерализации материалов и включает выявление закономерностей размещения полезных ископаемых в пределах минерагенических провинций с последовательным выделением и комплексной перспективной оценкой в их пределах *субпровинций*, *областей*, *поясов (бассейнов)*.

Мелкомасштабное прогнозирование сопровождается составлением минерагенических карт масштаба 1 : 1 000 000 – 1 : 500 000, на которых оконтуриваются субпровинции и области. Их составление ведется или на геологической, или на геолого-формационной основе.

Среднемасштабное прогнозирование сопровождается составлением минерагенических карт, называемых картами закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых, масштаба 1 : 200 000 – 1:100 000. Основу таких карт составляют геологические карты и карты полезных ископаемых. Выделяемые на них перспективные геологические объекты по размеру соответствуют картируемым в этом масштабе образованиям: для стратифицированных – ранга свит (подсвит), иногда метаморфических серий и комплексов; для плутонических и субвулканических, а также для метаморфических нестратифицированных – ранга комплексов, подкомплексов, фаз и фаций. Кроме того, перспективные объекты могут соответствовать по размерам ареалам и зонам эндогенно и экзогенно измененных пород, а также площадям развития импактитов или представлять собой линейно вытянутые объекты, приуроченные к картируемым вне масштаба разрывным нарушениям, дайкам, маркирующим горизонтам и т.п. При среднемасштабном прогнозировании выделяются минерагенические таксоны ранга *рудных районов (рудноносных зон) и рудных узлов*. Экономическая оценка выделенных перспективных объектов ведется на основе определения прогнозных ресурсов категории P_3 (иногда P_2).

Крупномасштабное прогнозирование осуществляется в масштабе 1 : 50 000. Оно ведется путем комплексного минерагенического анализа территории, сопровождаемого составлением карты закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых. Основой для составления таких карт являются геологические карты и карты полезных ископаемых. В результате этих исследований выявляются и оконтуриваются *рудные поля (рудные зоны)*. При отсутствии в пределах оконтуренных рудных полей месторождений они рассматриваются как *потенциальные рудные поля*. Экономическая оценка объектов ведется по результатам определения прогнозных ресурсов категорий P_2 (P_1).

Локальный прогноз дается на стадиях поисковых и оценочных работ. Прогноз на стадии поисковых работ осуществляется в масштабах 1 : 25 000 – 1 : 10 000 и крупнее. Эти работы проводятся в пределах потенциальных рудных районов и полей и специализированы на обнаружение месторождений кон-

кретных геолого-промышленных типов. Их цель – выявление локальных факторов контроля оруденения, оконтуривание перспективных площадей (участков), содержащих проявления полезных ископаемых, минералого-геохимические и геофизические аномалии высокой интенсивности и контрастности. Их заверка осуществляется поверхностными горными выработками и единичными буровыми скважинами. Экономическая оценка выявленных объектов дается на основе расчетов прогнозных ресурсов категорий P_2 (P_1).

Локальный прогноз на стадии оценочных работ дается на выявленных и положительно оцененных перспективных площадях, на которых обнаружены перспективные скопления полезных ископаемых. Геолого-структурные факторы локализации, пространственное положение залежей, основные геолого-промышленные параметры оруденения определяются путем проходки и исследования поверхностных горных выработок и буровых скважин по регулярной сети. Экономическая оценка промышленной ценности месторождения дается по результатам подсчета запасов категории C_2 для большей части объекта и категории C_1 на участках детализации. По менее изученным частям месторождения (флангам и глубоким горизонтам) определяются прогнозные ресурсы категории P_1 .

Детальный прогноз дается на стадиях разведки и эксплуатационной разведки. Этот вид прогноза предусматривает уточнение геологического строения месторождения, пространственного положения залежей, закономерностей распределения геолого-промышленных параметров внутри залежей, эксплуатационных этажей и блоков, а также прогноз новых залежей на флангах и глубоких горизонтах.

Создаваемая на стадии «разведка месторождения» сеть горных выработок и скважин должна обеспечивать степень изученности, достаточную для составления технико-экономического обоснования (ТЭО) постоянных кондиций и технического проекта разработки месторождения. Подсчет запасов с учетом группы сложности месторождения ведется по категориям А, В, C_1 , C_2 .

Разведочная сеть на стадии «эксплуатационная разведка» должна обеспечивать возможность текущего и оперативного планирования добычных работ, определения потерь и разубоживания полезного ископаемого. При этом запасы полезных ископаемых по степени подготовленности к отработке делятся на вскрытые, подготовленные и готовые к выемке.

* *

*

Все виды геологического прогнозирования взаимосвязаны. Поэтому на любой стадии прогнозирования следует учитывать как планетарные, региональные, локальные, так и детальные закономерности размещения оруденения. Методика прогнозирования включает создание обобщающих моделей разноуровневных минерагенических таксонов и оценку соответствия выделяемых на конкретных территориях минерагенических объектов созданным моделям. Поскольку каждый минерагенический объект по-своему уникален, для него целесообразно найти наиболее подходящий объект-аналог. Проверка соответствия исследуемого объекта модели производится в процессе проведения геологоразведочных работ. Это дает возможность выявить его индивидуальные свойства и оценить возможность перехода к следующей стадии изучения. Выявленные свойства изучаемого объекта могут стать материалом для уточнения обобщенной модели.

3.2. Поисковые критерии прогнозирования

Поиски месторождений полезных ископаемых ведутся на основе поисковых критериев (критериев потенциальной рудоносности).

Поисковые критерии представляют собой совокупность эмпирически установленных геологических факторов, определяющих потенциальную возможность выявления разномасштабных скоплений полезных ископаемых (тел, месторождений, полей, узлов, районов, областей, провинций) в пределах изучаемых участков недр. Они включают в себя понятия: *поисковые предпосылки* и *поисковые признаки* потенциальной рудоносности недр. Поисковые критерии учитываются при прогнозно-минерагенических построениях на всех этапах и стадиях изучения территорий с целью выбора первоочередных площадей для постановки геологосъемочных, поисковых, оценочных и разведочных работ, а также выбора комплекса методов поисков.

3.2.1. Поисковые предпосылки

Поисковые предпосылки – это группа эмпирически установленных и в дальнейшем теоретически обоснованных благоприятных факторов, влияющих на формирование и закономерности размещения проявлений полезных ископаемых различного масштаба. Иными словами, это разнообразные геологиче-

ские данные, указывающие на возможность образования месторождений и локализации их в данной геологической обстановке. По связи с полезными ископаемыми поисковые предпосылки подразделяются: 1) на стратиграфические, 2) литолого-фациальные, 3) тектонические, 4) магматические, 5) геохимические, 6) геоморфологические, 7) геолого-формационные.

Поисковые предпосылки являются основой прогнозирования месторождений полезных ископаемых и характеризуются уложенным строением. По масштабу проявления они подразделяются на планетарные, региональные, локальные и детальные.

Стратиграфические предпосылки

Стратиграфические предпосылки основаны на использовании устойчивых временных связей полезных ископаемых с историей развития земной коры и возрастом различных геологических образований. Заключаются в приуроченности месторождений к горным породам определенного возраста и являются важнейшими при прогнозировании осадочных, остаточных и вулканогенно-осадочных месторождений (уголь, железные и марганцевые руды, бокситы, соли, фосфориты и др.). Планетарные стратиграфические предпосылки выражаются в приуроченности полезных ископаемых к определенным системам (периодам); региональные – к отделам (эпохам); локальные – к ярусам, свитам, пачкам.

Для решения задач локального и особенно детального прогнозирования точность биостратиграфических методов расчленения слоистых толщ, как правило, недостаточна. Поэтому для этих целей широко используются литологические методы.

Общеизвестными являются планетарные эпохи угленакопления: каменноугольная, пермская, юрская, меловая и палеоген-неогеновая. Региональными предпосылками, например, для Донбасса являются толщи среднего и верхнего карбона, локальными – углесодержащие смоляниновская (C_2^3), каменная (C_2^5), алмазная (C_2^6), горловская (C_2^7) и некоторые другие свиты и их части. В целом же угленосная толща содержит до 200 пластов угля, однако далеко не все из них являются промышленными.

В качестве примера, иллюстрирующего приуроченность толщ солей к стратиграфическим подразделениям пермской системы, ниже приведен геологический разрез Верхнекамского месторождения (рис. 3.1). Как следует из рисунка, продуктивные пачки (сильвинитовая и карналлитовая) являются составной частью березниковской свиты иренского горизонта кунгурского яруса.

Для месторождений эндогенной серии стратиграфические предпосылки имеют опосредованный через литологический состав горных пород характер: залежи полезных ископаемых локализуются в слоях, благоприятных для рудообразования (например, скарновые, сурьмяно-ртутные).

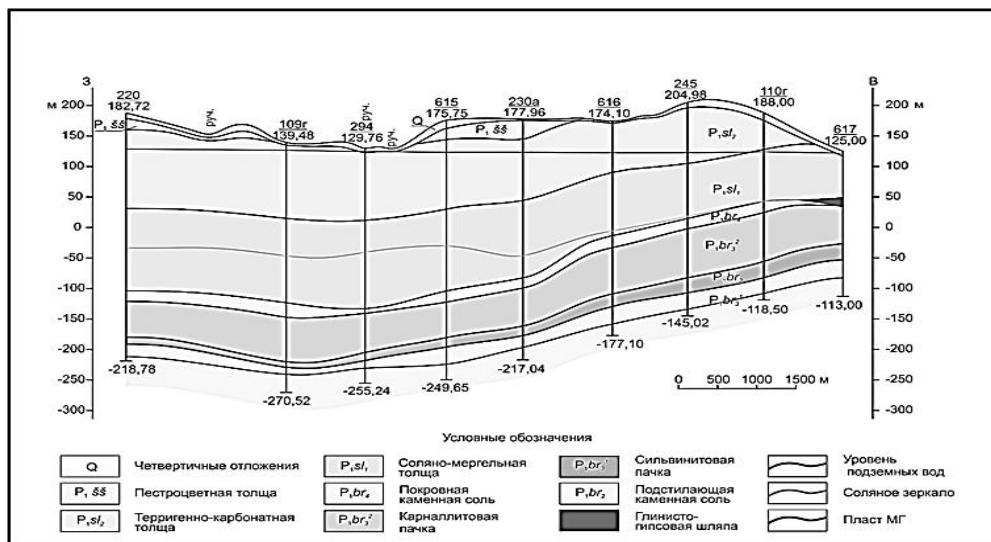


Рис. 3.1. Геологический разрез Верхнекамского месторождения
(по А. И. Кудряшову, 2001)

Литолого-фашиальные предпосылки

Литолого-фациальные предпосылки основаны на связи образования и размещения залежей полезных ископаемых с составом и фациями горных пород. Хорошо известно, что месторождения железа, марганца, бокситов, фосфоритов, каменного угля, солей и других полезных ископаемых образуются во вполне определенных фациальных обстановках. В условиях теплого гумидного климата образуются залежи каменного угля, бокситов, силикатных никелевых руд. В аридных лагунах – месторождения калийных, поваренных солей, мирабилита, гипса, ангидрита и др. В специфических морских обстановках формируются вулканогенно-осадочные месторождения меди, железа, марганца.

Для образования эндогенных месторождений существенное значение имеет наличие горных пород, благоприятных для рудообразования по литологическому и минеральному составу, химическим и физико-механическим свойствам. Рудообразование может происходить либо по способу метасоматического замещения, либо по способу выполнения трещин и пустот. Например, скарновые залежи образуются по пластам благоприятных карбонатных пород, а согласные гидротермальные залежи (полиметаллов, меди, сурьмяных, ртутных руд) – по пластам высокопористых (песчаников, гравелитов, вулканогенно-осадочных) пород. При этом немаловажную роль играет присутствие в толще экранирующих (малопроницаемых) горных пород, которые препятствуют рассеянию рудообразующих флюидов (рис. 3.2; 3.3).

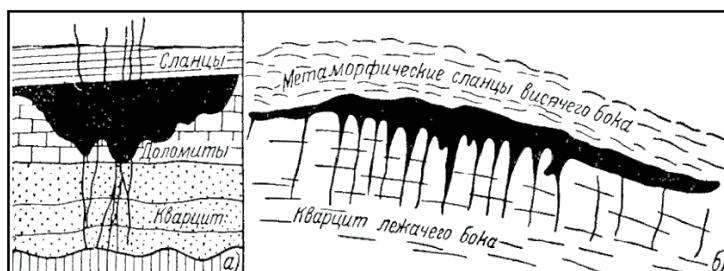


Рис. 3.2. Рудные тела под экранами (по Ирвингу и Спенсеру);
Гидротермальные руды образовались в трещиноватых доломитах: а - под экраном глинистых сланцев), б - в трещиноватых кварцитах под экраном метаморфических сланцев

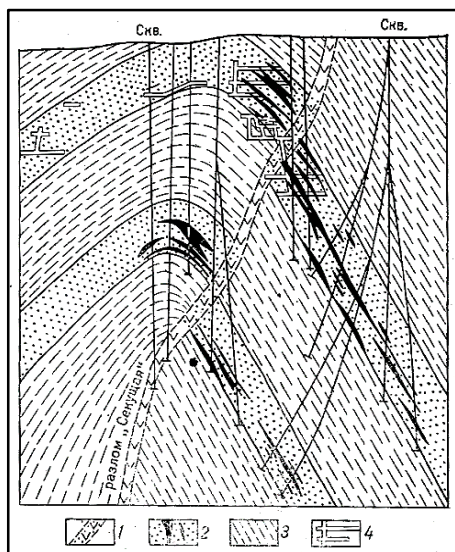


Рис. 3.3. Пластообразные залежи киновари в горизонтах песчаников Никитовского месторождения (Донбасс) (по А. Добрянскому):
1 – зона брекчирования разлома «Секущая дайка»; 2 – рудные тела в песчаниках; 3 – безрудные сланцы; 5 – подземные горные выработки
Песчаники являются пористыми горными породами, что обеспечивает рудообразование по способу выполнения трещин и пустот

Тектонические предпосылки прогнозирования выражаются в приуроченности месторождений к тектоническим структурам (пликативным, дизъюнктивным, массивам магматических пород, метаморфическим образованиям). Они могут проявляться на различных тектонических уровнях. Региональные тектонические структуры контролируют размещение минерагенических провинций, бассейнов, поясов, рудных районов, полей и даже месторождений.

Как отмечалось выше, региональное прогнозирование осуществляется путем составления мелко- и среднемасштабных прогнозно-минерагенических карт и карт закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых (крупномасштабное прогнозирование). При этом следует иметь в виду, что набор полезных ископаемых в существенной степени зависит от тектонической принадлежности территории к той или иной тектонической области (платформа и ее структурные элементы; складчатая область и ее структурные элементы). Например, складчатые области характеризуются широким развитием эндогенных и метаморфогенных месторождений, платформенные плиты – месторождений осадочного происхождения, выветривания, месторождений, связанных с тектоно-магматической активизацией.

Локальные тектонические структуры (складки, разломы, трещины и т.п.) контролируют локализацию минерализованных зон, залежей полезных ископаемых, их внутреннее и внешнее строение (рис. 3.4; 3.5; 3.6; 3.7).

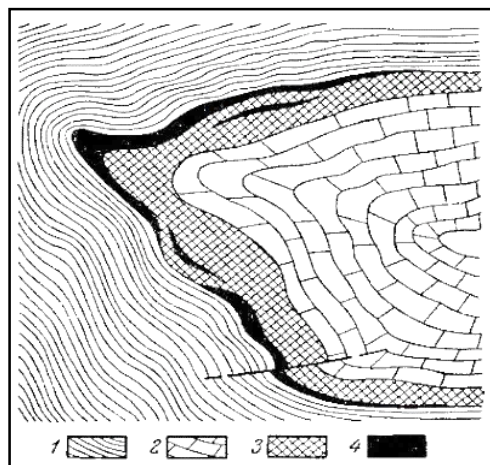


Рис. 3.4. Седловидная антимонитовая залежь на месторождении Средней Азии. Разрез (по В. И. Смирнову, 1982):
1 – сланцы; 2 – известняки;
3 – бедная руда; 4 – богатая руда

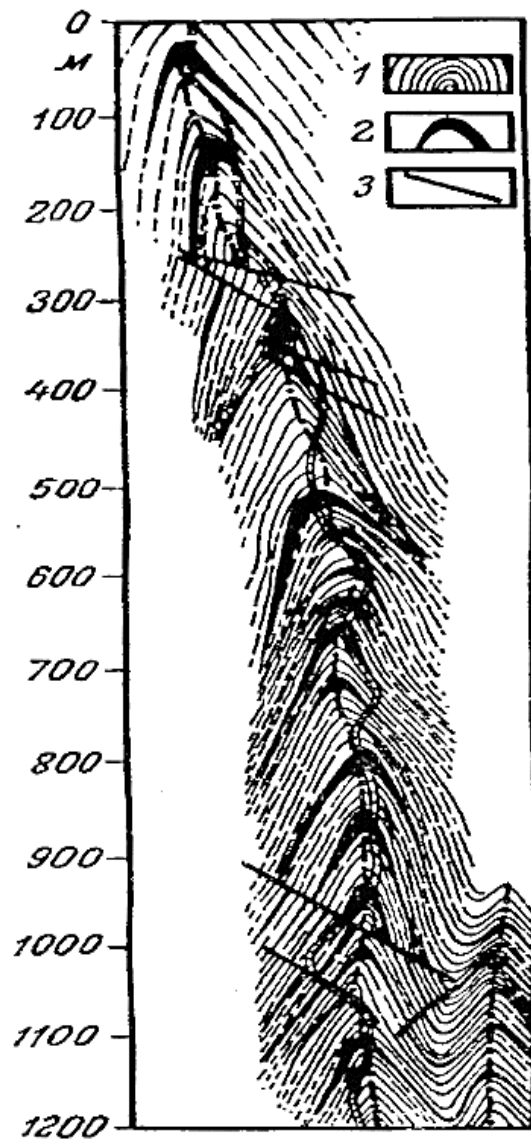


Рис. 3.5. Седловидные кварцево-золоторудные залежи месторождения Бендиго (Австралия). Разрез (по В. И. Смирнову, 1982):

1 – сланцы и песчаники; 2 – руда; 3 – сбросы

Залежи приурочены к зонам разуплотнения, образовавшимся в замковых частях антиклиналей

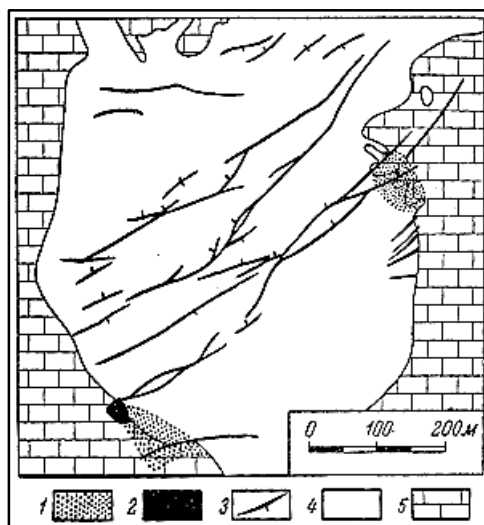


Рис. 3.6. Медные жилы месторождения Морокоча (Перу)
(по Е. Трефицелу): 1 – вкрапленные руды; 2 – массивные руды;
3 – рудные жилы; 4 – кварцевые монзониты; 5 – известняки
Жилы приурочены к двум системам трещин скола

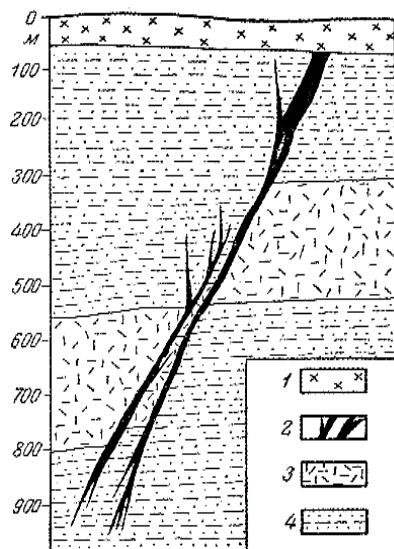


Рис. 3.7. Золото-серебряная жила Сан-Рафэль (Мексика)
(по В. Линдгрену): 1 – покров кайнозойских андезитов;
2 – рудная жила; 3 – миоценовые андезиты;
4 – юрские сланцы и песчаники
Жила приурочена к сбросу

Магматические предпосылки

Магматические предпосылки основаны на связи месторождений с магматическими процессами. Особое значение они имеют для месторождений эндогенной серии (магматических, карбонатитовых, пегматитовых, альбитит-грейзеновых, скарновых, гидротермальных, колчеданных). При их анализе необходимо обращать внимание на связь с составом и закономерности пространственного размещения оруденения относительно материнского массива.

Связь с составом. С дунитами и перидотитами связаны месторождения хрома, платины; с кимберлитами и лампроитами – коренные месторождения алмазов; с пироксенитами – титаномагнетитовых руд; с габбро-норитами – сульфидных медно-никелевых руд с платиноидами; с породами среднего и кислого состава – широкий спектр пегматитовых, скарновых, альбитит-грейзеновых и гидротермальных месторождений преимущественно цветных, редких и благородных металлов; с нефелиновыми сиенитами – апатита, ниобия, редкоземельных элементов; с карбонатитами – железа, флогопита, вермикулита, циркония, апатита, редкоземельных элементов и др.; с базальт-андезит-липаритовыми вулканогенными постройками – серно- и медноколчеданные и колчеданно-полиметаллические.

Для эндогенных месторождений характерна общая закономерность размещения: по мере удаления от материнского массива высокотемпературные месторождения сменяются низкотемпературными (рис. 3.8).

Условия локализации эндогенных месторождений различных генетических типов относительно материнского массива изверженных пород в существенной степени зависят от глубины эрозионного среза.

Следует иметь в виду, что магматические предпосылки используются при прогнозировании не только эндогенных месторождений, но и осадочных (например, россыпных – платины, алмазов) и остаточных (коры выветривания) месторождений, например, силикатных никелевых руд, латеритных бокситов. Это обусловлено тем, что для образования россыпей или месторождений кор выветривания необходимо, чтобы где-то поблизости находились рудообразующие магматические горные породы.

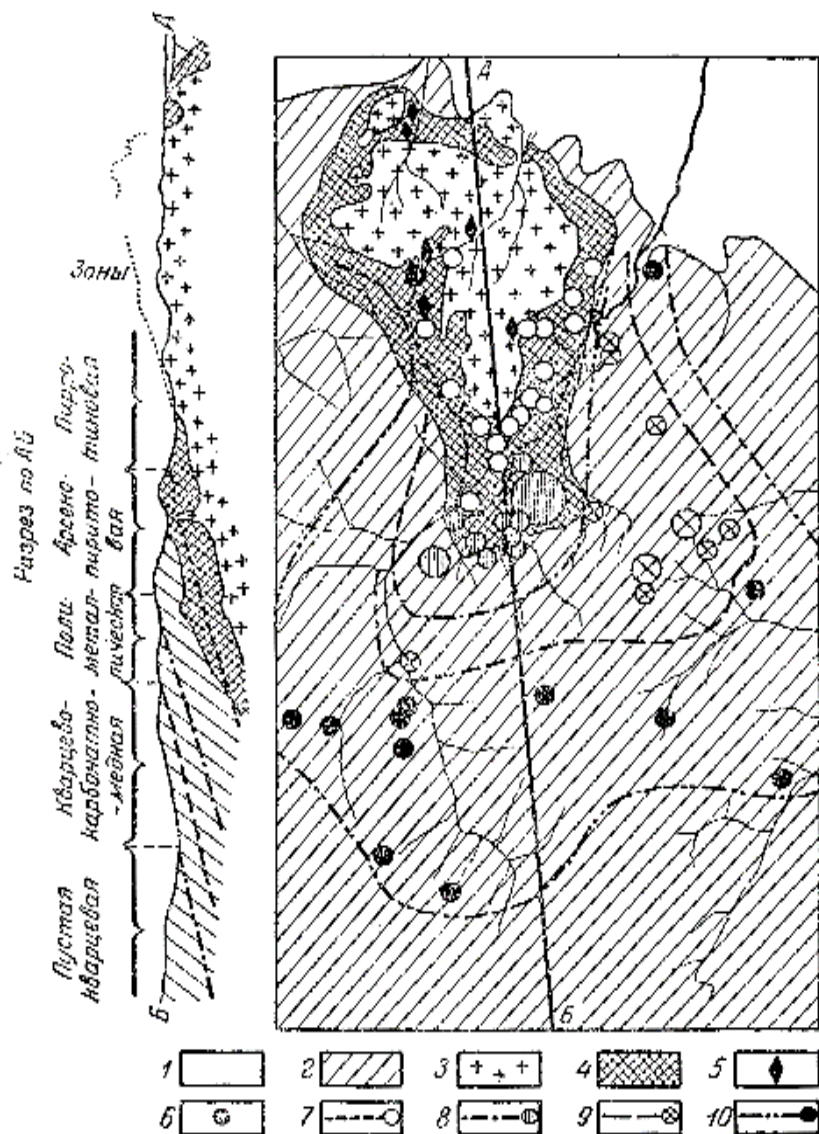


Рис. 3.8. Зональное размещение месторождений вокруг гранитного массива (по В. И. Смирнову, 1982): 1 – третичные и четвертичные отложения; 2 – нижнепалеозойские породы; 3 – граниты; 4 – роговики; 5 – пегматитовые жилы; 6 – везувиан-гранатовые скарны с шеелитом, молибденитом, арсенопиритом и висмутином; 7 – пирротин-халькопиритовые жилы; 8 – арсенопиритовые жилы; 9 – полиметаллические жилы; 10 – кварц-карбонатные жилы с халькопиритом и галенитом.

Размер знака пропорционален размеру месторождения.

По мере удаления от гранитного массива высокотемпературное оруденение сменяется низкотемпературным

Сущность геохимических предпосылок заключается в использовании закономерностей поведения химических элементов в земной коре.

При использовании геохимических предпосылок для прогнозирования месторождений в первую очередь следует обратить внимание на концентрацию компонентов в горных породах района и сравнить их с мировыми и региональными кларками. Далее необходимо определить, соответствуют ли содержания компонентов литогенному или рудогенному уровням. При содержаниях химического элемента в петротипе в 1,5 и более раза больше кларкового петротип считается благоприятным для рудообразования. Если же его содержание ниже кларкового, то петротип для рудообразования считается неблагоприятным.

На основе анализа литолого-петрографического состава горных пород должны быть оценены возможности формирования геохимических барьеров (восстановительных, окислительных, щелочных, кислотных и т. д.), благоприятных для рудообразования. При этом следует иметь в виду, что на размеры ореолов рассеяния (рис. 3.9) и расстояние проникновения элементов за пределы залежей полезных ископаемых оказывает влияние их миграционная способность.

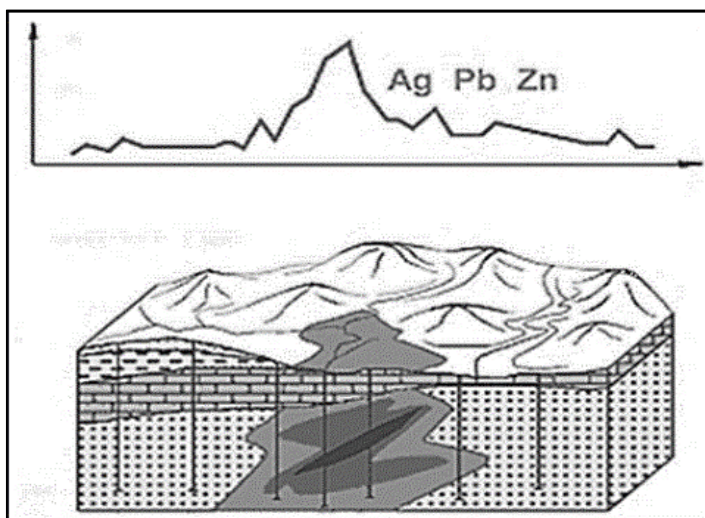


Рис. 3.9. Первичный ореол рассеяния (серое) вокруг полиметаллического рудного тела (черное)
(по материалам Александровской опытно-методической экспедиции)

При прогнозировании месторождений должны учитываться также парагенетические ассоциации: элементов, минералов, месторождений с учетом их генезиса. Примеры парагенетических ассоциаций приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Примеры парагенетических ассоциаций
элементов, минералов, месторождений

Парагенетические ассоциации		
элементов	минералов	месторождений
<i>Zn–Pb–Cu–Cd–Ag</i> (колчеданно-полиметаллические месторождения);	Сфалерит–галенит–халькопирит–пирит (первичная ассоциация колчеданных месторождений);	<i>Fe–Zr–Nb</i> –апатит–флогопит–вермикулит (карбонатитовые месторождения);
<i>Cr–Pt</i> (магматические месторождения);	Смитсонит–церуссит–азурит–малахит–лимонит (вторичная ассоциация колчеданных месторождений);	Каменный уголь– <i>Ge–U–V</i> (осадочные месторождения);
<i>Ni–Co–Cu–Pt</i> (магматические месторождения);	Хромшпинелид–самородная платина (магматические месторождения);	Соли: <i>K–Na–Mg</i> (осадочные месторождения)
<i>Sn–W–Mo</i> (грейзеновые месторождения);	Пентландит–кобальтин–халькопирит–пирротин–самородная платина (магматические месторождения);	
<i>Fe–Mn</i> (осадочные и вулканогенно-осадочные месторождения)	Касситерит–вольфрамит–молибденит (грейзеновые месторождения)	

Геоморфологические предпосылки

Геоморфологические предпосылки основаны на использовании закономерностей пространственного распределения месторождений, обусловленных формами рельефа. Их особенно следует учитывать при поисках остаточных и осадочных, включая россыпные, месторождений, образование которых связано с формированием рельефа. Это остаточные месторождения никеленосных кор выветривания, железа, бокситов, россыпи золота, платины, касситерита, вольфрамита, алмазов и других, а также песчано-гравийные месторождения.

Среди россыпных месторождений выделяются элювиальный, делювиальный, пролювиальный, аллювиальный, литоральный (прибрежно-морской), гляциальный, эоловый классы. Месторождения всех перечисленных классов приурочены к вполне определенным элементам рельефа (рис. 3.10).

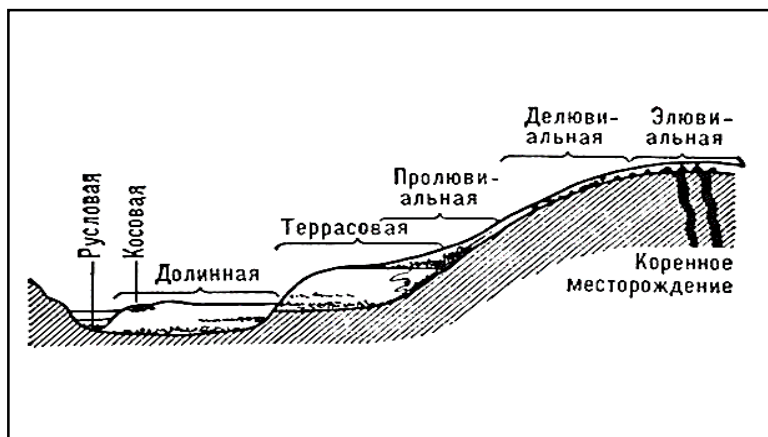


Рис. 3.10. Схема размещения россыпей в поперечном сечении речной долины

При геоморфологическом прогнозировании (в зависимости от масштаба исследований) следует учитывать иерархическую соподчиненность форм рельефа: мега-, макро-, мезо- и микроформы.

Для эндогенных месторождений большое значение имеет определение глубины эрозионного среза – мощности горных пород, денудированных после завершения складчатых и магматических процессов. Это обусловлено тем, что многие типы эндогенных месторождений имеют вполне определенную глубину формирования относительно поверхности рельефа. По данным В. И. Смирнова (1982), глубины формирования гранитных пегматитов составляют от 1,5–2 до 16–20 км; грейзенов – от 1–1,5 до 4–5 км, скарнов – от 0,5 до 2,5 км, гидротермальных жил – от 0,5 до 4,5 км.

Геолого-формационные предпосылки

Геолого-формационные предпосылки основаны на связи полезных ископаемых с геологическими формациями (формациями горных пород). Геолого-формационные предпосылки являются синтезирующим критерием прогнозирования.

Геологическая формация – естественное закономерное сочетание горных пород, связанных общностью образования в условиях определенного тектонического режима. Выделяются формации осадочные, интрузивные, вулканогенные, метаморфические.

Наблюдается закономерная связь отдельных рудноформационных (геолого-промышленных) типов месторождений с конкретными геологическими формациями. Примеры такой связи приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Примеры связи геолого-промышленных типов месторождений
с геологическими формациями

Геолого-промышленный тип месторождения	Геологическая формация
Хромшпинелидовый в альпинотипных гипербазитах	Дунит-перидотитовая
Сульфидный медно-никелевый	Габбро-норитовая
Титаномagnetитовый	Дунит-клинопироксенит-габбровая
Хрусталеносных пегматитов	Лейкогранитовых гранитоидов
Вольфрамит-молибденитовый	Лейкогранитовых гранитоидов
Скарново-магнетитовый	Плагιοгранит-диорит-сиенитовая + вулканогенно-карбонатная
Кварц-касситерит-вольфрамитовый	Гранитовая
Галенит-сфалеритовый стратиформный	Морская карбонатная
Колчеданно-полиметаллический	Базальт-андезит-риолитовая контрастная
Силикатных никелевых руд коры выветривания	Гипербазитовая
Хлоридных калийных, натриевых и магниевых солей	Галогенная
Каменных углей	Угленосная
Железистых кварцитов	Амфиболит-зеленосланцевая

При прогнозировании месторождений полезных ископаемых должен учитываться весь комплекс геологических предпосылок. Не все из них могут играть определяющую роль при прогнозировании месторождений конкретных типов в конкретном регионе. Задача геолога заключается в выборе важнейших из них и оценке степени влияния на локализацию оруденения в данной геологической обстановке.

3.2.2. Поисковые признаки

Поисковые признаки представляют собой геологические тела или присущие им свойства, указывающие на наличие или возможность выявления месторождений полезных ископаемых в определенном месте. В отличие от поисковых предпосылок они более конкретно указывают на наличие полезного ископаемого или реальную возможность его обнаружения. Поисковые признаки принято подразделять на *прямые и косвенные*.

Прямые поисковые признаки непосредственно указывают на наличие полезного ископаемого.

Косвенные поисковые признаки лишь косвенно свидетельствуют о наличии оруденения.

Прямые поисковые признаки

Как отмечено выше, прямые поисковые признаки непосредственно указывают на наличие полезного ископаемого в конкретном месте. К ним относятся:

- выходы полезных ископаемых на земную поверхность или обнаруженные в горных выработках (скважинах);
- ореолы и потоки рассеяния рудного вещества;
- некоторые геофизические аномалии;
- следы старых разработок полезных ископаемых, исторические (архивные) данные о горном промысле.

Выходы полезных ископаемых на поверхность или обнаруженные в горных выработках (скважинах). Это наиболее достоверный поисковый признак. Выявление полезных ископаемых в обнажениях, вскрытие их с помощью горных выработок или скважин (создание искусственных обнажений) – важнейшая поисковая задача. В результате этого появляется возможность установить минеральный состав, химические, технические и другие свойства полезного ископаемого, определить условия залегания и локализации оруденения, оценить потенциальные размеры скопления полезного ископаемого и др.

Следует иметь в виду, что наблюдаемые свойства залежей полезных ископаемых (вещественный состав, мощность и условия залегания) в зоне гипергенеза могут быть существенно иными по сравнению с теми, что будут обнаружены на глубине при вскрытии скважинами и горными выработками. В первую очередь это относится к изменениям полезных ископаемых, сложенных неустойчивыми в зоне окисления минералами (месторождения сульфид-

ных руд, солей, каменного угля и др.). Например, для первичных неокисленных колчеданно-полиметаллических руд характерна ассоциация рудных минералов: сфалерит, галенит, халькопирит, пирит. В зонах окисления она превращается во вторичную, в составе которой обычно присутствуют смитсонит, церуссит, малахит, азурит, лимонит и др.

В приповерхностной зоне под действием гравитационных сил могут изменяться и углы падения залежей. Геохимические процессы, обусловленные окислением первичных минералов, могут приводить к уменьшению мощности рудных тел (рис. 3.11), а иногда и к увеличению (рис. 3.12).

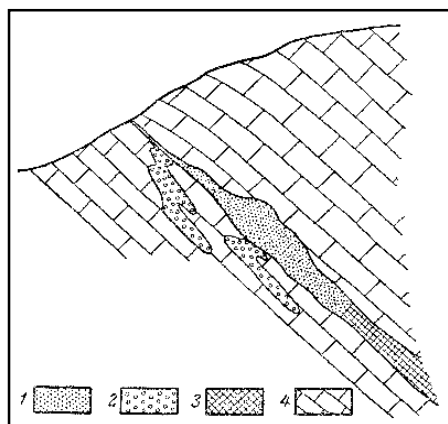


Рис. 3.11. Уменьшение мощности окисленной части полиметаллического рудного тела у выхода на земную поверхность (по В. И. Смирнову, 1982):

1 – англезито-церусситовая руда; 2 – смитсонитовая руда; 3 – сульфидная полиметаллическая руда; 4 – известняки
Уменьшение мощности рудного тела произошло за счет выщелачивания первичных руд

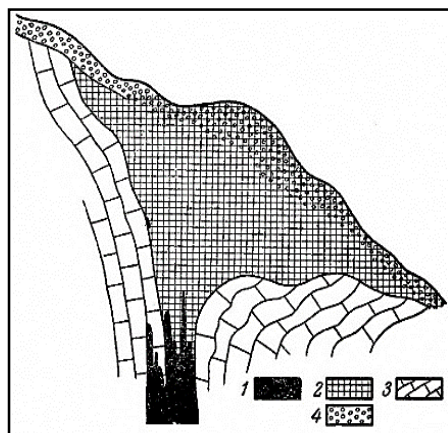


Рис. 3.12. Увеличение размеров окисленной части мышьякового рудного тела у выхода на земную поверхность (по В. И. Смирнову, 1982):

1 – арсенопиритовая руда; 2 – скородитовая руда; 3 – известняки; 4 – делювий
Увеличение размеров рудного тела произошло за счет замещения арсенопирита скородитом, которое сопровождается увеличением объема в 2,5 раза

Ореолы и потоки рассеяния представляют собой зоны повышенных концентраций (относительно фоновых) минералов или элементов вокруг залежей полезных ископаемых.

Фоновые концентрации – это средние содержания химических элементов в горных породах, почвах, водах, газах и растениях. Величины фоновых концентраций служат эталонами сравнения для выявления локальных объектов с аномально высокими (или аномально низкими) содержаниями элементов. Фоновые концентрации количественно определяются путем статистической обработки данных геохимического опробования конкретных геологических объектов в пределах однородных участков, удаленных от явных аномалий. Содержания элементов в каждой отдельной точке опробования на фоновых участках рассматриваются в качестве случайных величин, подчиняющихся нормальному или логарифмически нормальному закону распределения, т.к. их колебания вызваны одновременным и независимым влиянием большого числа различных причин. Величина фоновой концентрации и ее среднеквадратическое отклонение являются важнейшими параметрами местного геохимического фона – понятия, широко применяемого при геохимических поисках и разведке месторождений полезных ископаемых. Фоновые концентрации элементов от их кларковых значений отличаются обычно незначительно.

Ореолы рассеяния имеют большие размеры, нежели создающие их залежи полезных ископаемых. Поэтому их обнаружить легче, чем сами залежи. На изучении ореолов рассеяния минералов основаны визуальный и шлиховой методы поисков, а на изучении ореолов рассеяния химических элементов – геохимические методы поисков.

По происхождению ореолы рассеяния подразделяются на первичные и вторичные.

Первичные ореолы рассеяния. Первичные ореолы рассеяния размещаются в коренных породах и формируются в процессе образования месторождений (или при их метаморфизме). Основными факторами их формирования являются диффузия и инфильтрация элементов в околорудном пространстве. Состав, форма, размеры ореолов зависят:

- от состава рудообразующих флюидов и геохимических особенностей (миграционной способности) слагающих их элементов;
- формы, состава и условий залегания рудных тел;
- физико-химических особенностей и условий залегания вмещающих пород.

Обобщенная схема строения первичного геохимического ореола рассеяния приведена на рис. 3.13.

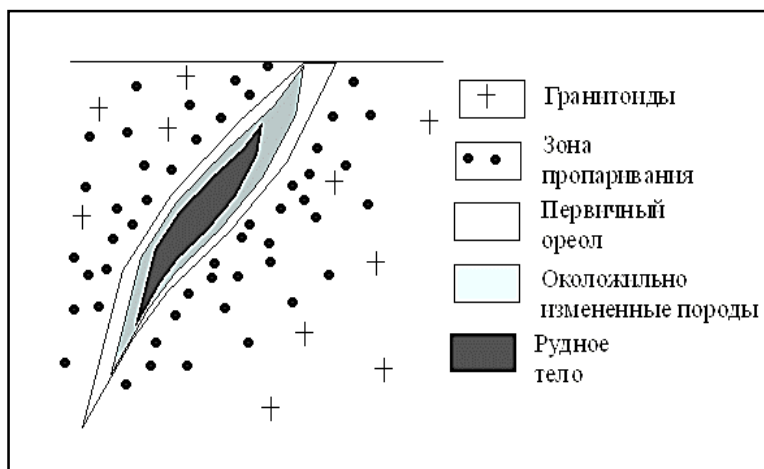


Рис. 3.13. Схема строения первичного ореола рассеяния

Первичные ореолы обычно залегают субсогласно с рудными телами, вытягиваясь вдоль них и существенно превосходя их по размерам (рис. 3.14).

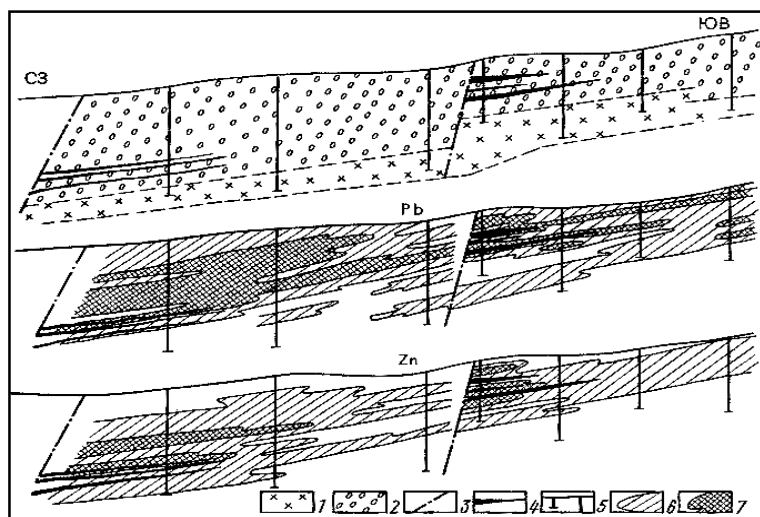


Рис. 3.14. Первичные геохимические ореолы месторождения Тулы-1. Курусайское рудное поле. Таджикистан. (Справочник по геохимическим методам поисков..., 1990):

- 1 – андезит-дацитовые порфиры; 2 – известково-аркозовые конгломераты;
- 3 – разрывные нарушения; 4 – рудные тела; 5 – скважины; 6 – первичные ореолы;
- 7 – поля повышенных концентраций элементов

Первичные ореолы рассеяния имеют зональное строение, обусловленное геохимическими особенностями элементов, в частности их миграционной способностью. В зависимости от расположения наиболее высоких концентраций отдельных элементов относительно залежей полезных ископаемых выделяют ореолы: подрудные, околорудные, надрудные.

Зональность первичных ореолов проявляется в закономерном изменении концентраций элементов в различных направлениях. Различают зональность осевую, продольную и поперечную (рис. 3.15). *Осевая* зональность проявляется в направлении движения гидротермальных растворов (обычно по восстанию рудного тела), *продольная* – в направлении растекания растворов по простиранию рудного тела, *поперечная* – в направлении, перпендикулярном к осевой поверхности рудного тела.

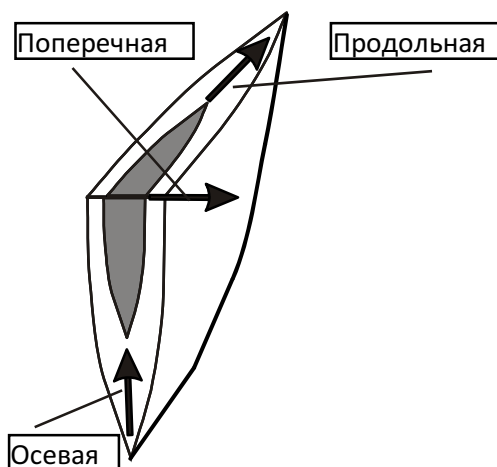


Рис. 3.15. Типы зональности в первичном ореоле
(по В. Г. Ворошилову, 2011)

Последовательность отложения элементов из единого гидротермального потока в целом однотипна. Наиболее подробно ряд вертикальной (осевой) зональности изучен для сульфидных гидротермальных месторождений. В пределах отдельных генетических типов элементы-индикаторы образуют достаточно устойчивые *ряды зональности*. По С. В. Григоряну (1987), обобщенный ряд зональности сульфидных гидротермальных месторождений (от подрудных к надрудным) имеет следующий вид: *W–Be–Sn–U–Mo–Co–Ni–Bi–Cu–Au–Zn–Pb–Ag–Cd–Hg–As–Sb–Ba–I* (рис. 3.16; 3.17).

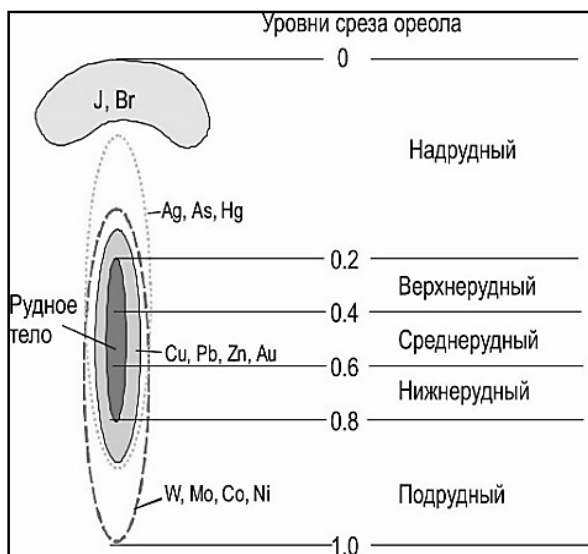


Рис. 3.16. Уровни максимального накопления элементов в первичном ореоле сульфидсодержащего рудного тела (по В. Г. Ворошилову, 2011)

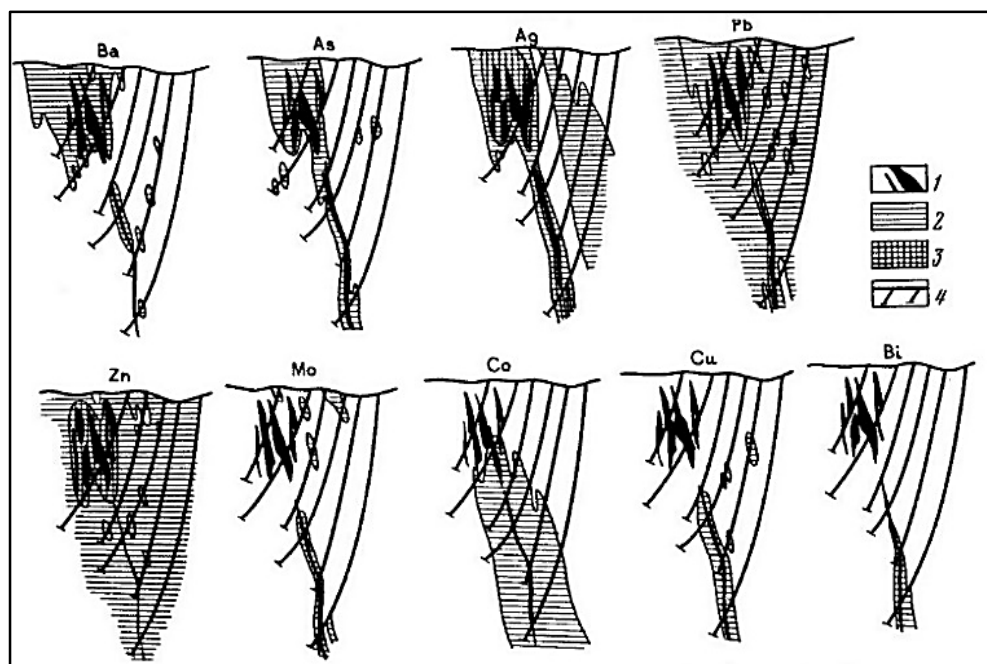


Рис. 3.17. Первичные геохимические ореолы месторождения Канимансур. Сев. Таджикистан (Справочник по геохимическим поискам..., 1990):
1 – рудные тела; 2 – первичные ореолы; 3 – поля повышенных концентраций элементов; 4 – скважины

По отношению к сульфидсодержащим рудам (например, полиметаллическим) эти элементы можно разделить на три группы: нижнерудную (подрудную), околорудную (среднерудную и верхнерудную) и надрудную (см. рис. 3.16).

Важность изучения зональности первичных ореолов можно проиллюстрировать на примере рис. 3.18. Во всех пяти случаях скважина пересекла геохимический ореол одной и той же мощности с близкими содержаниями основного рудного элемента. В то же время проведение дальнейших геологоразведочных работ целесообразно только в случаях 1 и 4, т.к. скважины вскрыли надрудный ореол.

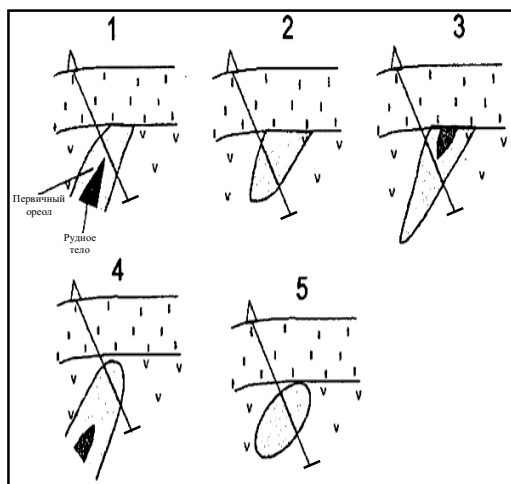


Рис. 3.18. Различные варианты вскрытия скважинами первичного геохимического ореола
(по В. Г. Ворошилову, 2011)

На изучении первичных ореолов основан геохимический метод поисков месторождений по первичным ореолам рассеяния.

Вторичные ореолы и потоки рассеяния формируются в процессе разрушения месторождений и первичных ореолов. Они образуются:

- в почвах и рыхлых отложениях,
- растительности,
- поверхностных и грунтовых водах,
- приповерхностном и почвенном воздухе.

Различают ореолы и потоки вторичного рассеяния. Вторичные ореолы более или менее равномерной каймой окружают залежи полезных ископаемых. Потоки рассеяния имеют вытянутую форму, обусловленную течением водного потока (рис. 3.19).

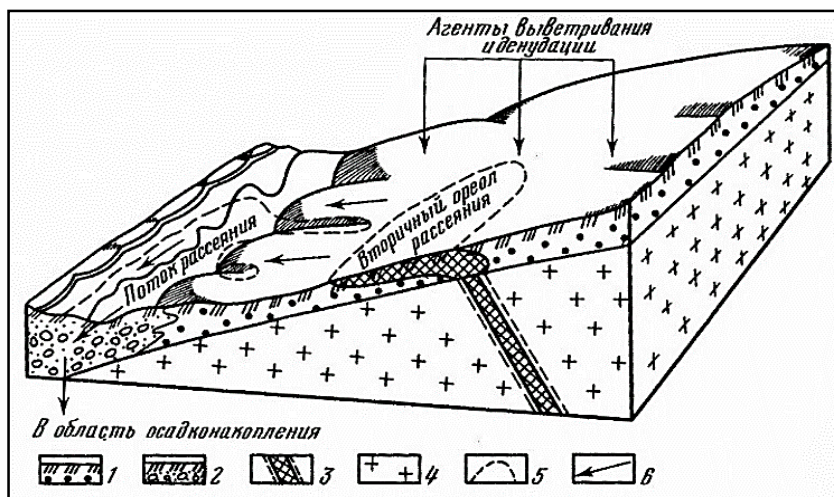


Рис. 3.19. Схема формирования вторичных ореолов и потоков рассеяния (по А. П. Соловову, 1985): 1 – элювиально-делювиальные отложения; 2 – делювий; 3 – рудное тело и его первичный ореол; 4 – рудовмещающие породы; 5 – контур аномальных содержаний элементов в продуктах выветривания, в речной воде и растительности; 6 – направление стока

Вторичные ореолы рассеяния, выходящие на земную поверхность, принято называть открытыми, а ореолы рассеяния, перекрытые более молодыми рыхлыми отложения, именуют закрытыми.

В. А. Алексеенко (2005) среди *открытых ореолов рассеяния* выделяет: I) остаточные (элювиально-делювиальные), II) наложенные диффузионные, III) наложенные аккумулятивные надрудные, IV) наложенные аккумулятивные оторванные, а среди *закрытых ореолов*: V) остаточные (элювиально-делювиальные) выщелоченные и предельно разубоженные, VI) остаточные погребенные; VII) наложенные погребенные (рис. 3.20).

В зависимости от фазового состояния продуктов разрушения вторичные ореолы и потоки рассеяния подразделяются:

- на механические,
- солевые,
- смешанные (литогеохимические),
- водные (гидрохимические),
- газовые (атмохимические),
- биогеохимические.

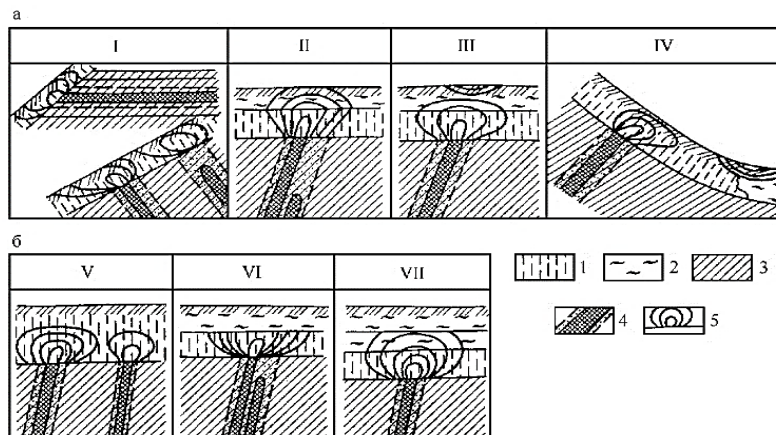


Рис. 3.20. Основные типы вторичных литохимических ореолов рассеяния
(Инструкция по геохимическим методам поисков..., 1965):

а – открытые ореолы, б – закрытые ореолы. I – остаточные (элювиально-делювиальные); II – наложенные диффузионные; III – наложенные аккумулятивные надрудные; IV – наложенные аккумулятивные оторванные; V – остаточные (элювиально-делювиальные) выщелоченные и предельно разубоженные;

VI – остаточные погребенные; VII – наложенные погребенные;

1 – современные элювиально-делювиальные образования или древняя кора выветривания; 2 – перекрывающие аллохтонные отложения;

3 – рудовмещающие породы; 4 – рудные тела и их первичные ореолы;

5 – вторичные ореолы рассеяния

Механические ореолы рассеяния образуются при физическом разрушении химически устойчивых полезных ископаемых. По размеру обломков (В. Т. Фролов, 1993) они подразделяются: на грубообломочные, или псефитовые с размерами зерен >2 мм; песчаные, или псаммитовые (0,2–0,05 мм); пылеватые, или алевритовые (0,05–0,001 мм). Механические ореолы рассеяния могут находиться в элювиальных, коллювиальных, делювиальных, пролювиальных, аллювиальных и гляциальных отложениях или в смесях этих отложений. Основные типы вторичных литохимических ореолов рассеяния показаны выше (см. рис. 3.20).

На изучении механических ореолов рассеяния основаны *обломочно-речной, валунно-ледниковый и шлиховой методы поисков*. Размер и окатанность обломков обусловлены физико-механическими свойствами полезного ископаемого, вмещающих пород и дальностью переноса.

Конфигурация ореолов определяется формой выхода рудного тела, крутизной склона, характером рельефа (рис. 3.21; 3.22).

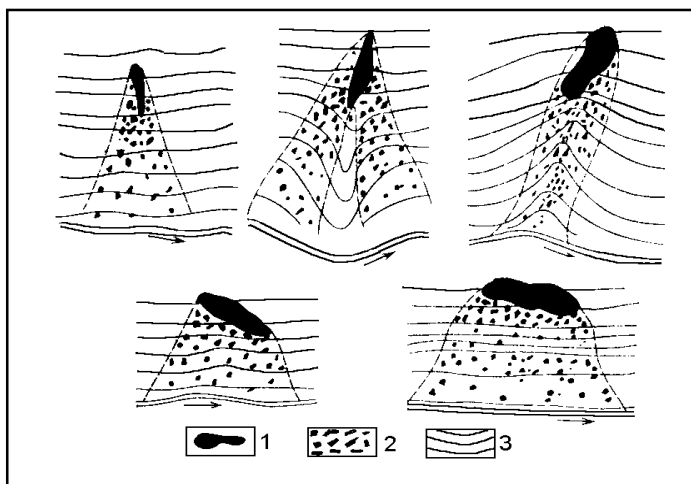


Рис. 3.21. Схема строения делювиальных ореолов рассеяния в зависимости от положения рудного тела в рельефе (по В. И. Бирюкову и др.):
1 – рудное тело, 2 – ореол, 3 – топогоризонталы

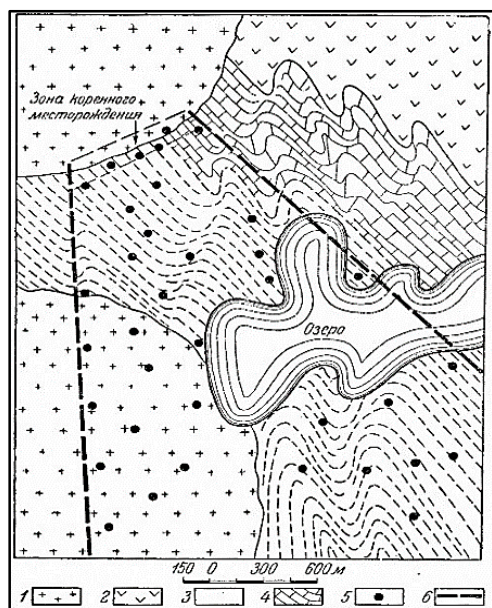


Рис. 3.22. Ореол рудных валунов в ледниковых отложениях (по В. И. Смирнову, 1982):
1 – граниты, 2 – диабазы,
3 – сланцы, 4 – доломиты,
5 – рудные валуны,
6 – границы рудного веера

Солевые ореолы и потоки рассеяния образуются в результате разложения, растворения, переноса и переотложения рудного вещества в виде элементов или солей. Выпадение солей происходит: 1) вследствие изменения pH и Eh среды, 2) пересыщения растворов при испарении, 3) обменных реакций с окружающей средой, 4) сорбции.

На формирование солевых ореолов рассеяния существенное влияние оказывает климат. В условиях гумидного климата образуются погребенные ореолы; в условиях аридного климата – открытые, а в условиях умеренно влажного климата – неглубокие полузакрытые.

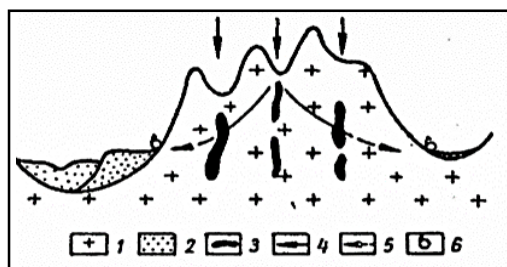
Для территорий с аридным климатом характерно естественное засоление почв и элювиально-делювиальных отложений. Оно происходит в результате подъема солей к поверхностным слоям из грунтовых вод и коренных отложений при восходящем движении влаги. Влага по мере вертикально восходящего движения испаряется, а содержащаяся в ней соль откладывается на стенках порового пространства почв и рыхлых отложений. Высокое природное засоление характерно для осадков пустынь и полупустынь. В наибольшей степени засолены отложения, образующиеся на коренных породах с высоким природным засолением, при неглубоком (менее 3 м от поверхности земли) залегании засоленных грунтовых вод.

Смешанные (литохимические ореолы) и потоки рассеяния. Чисто солевые и механические ореолы встречаются относительно редко. Чаще образуются смешанные ореолы, содержащие как механическую, так и солевую составляющие. Такие ореолы принято называть литохимическими. Установлена общая закономерность распределения элементов-индикаторов оруденения по гранулометрическим фракциям. Большинство этих элементов концентрируется в мелких фракциях. Повышенные концентрации компонентов в крупных фракциях наблюдаются лишь близ залежей полезных ископаемых.

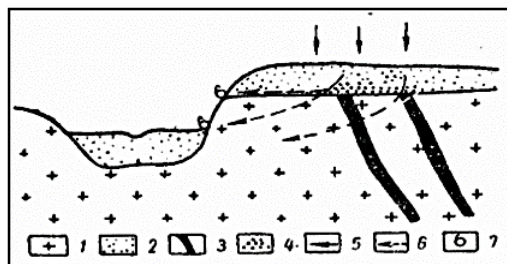
На изучении смешанных ореолов основан *литохимический метод поисков* месторождений полезных ископаемых.

Водные (гидрохимические) ореолы рассеяния образуются за счет растворения и выноса химических элементов и их соединений из тел полезных ископаемых подземными и поверхностными водами (рис. 3.23). Основными факторами их формирования являются: 1) наличие растворимых минералов в залежах полезных ископаемых; 2) интенсивность водной миграции; 3) благоприятные литолого-структурные обстановки, обеспечивающие доступ подземных вод к рудным телам; 4) инертность вмещающих пород, препятствующая возникновению геохимических барьеров.

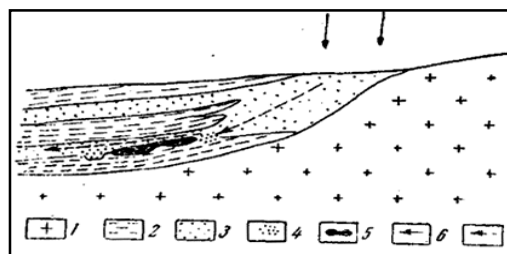
Содержание элементов в водных ореолах рассеяния рудных месторождений на 1–2 порядка выше, чем в обычных водах. На изучении гидрохимических ореолов рассеяния основан *гидрохимический метод поисков*. Метод широко используется при поисках месторождений: солей, сульфидных руд цветных металлов, бора, урана.



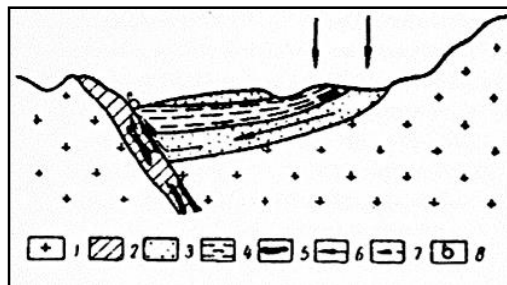
А. Аномалии, связанные со слепыми рудными телами в горном районе: 1 – коренные породы, 2 – аллювиальные отложения, 3 – слепые рудные тела, 4 – метеорные осадки, 5 – ореольные воды, 6 – гидрохимические аномалии (выходы ореольных вод)



Б. Аномалия, связанная с перекрытым месторождением и его погребенным ореолом в условиях расчлененного пенеплена: 1 – коренные породы, 2 – рыхлые отложения, 3 – рудные тела, 4 – погребенный ореол, 5 – метеорные осадки, 6 – ореольные воды, 7 – выходы ореольных вод



В. Погребенный гидрохимический ореол в межпластовых водах: 1 – кристаллический фундамент, 2 – водонепроницаемые осадочные толщи, 3 – водонепроницаемые породы, 4 – первичный рудный ореол, 5 – рудное тело, 6 – метеорные осадки, 7 – ореольные воды



Г. Аномалия, связанная с восходящими водами, омывающими слепые рудные тела: 1 – кристаллические породы, 2 – зона дробления, 3 – водонепроницаемые воды, 4 – экранирующий водонепроницаемый горизонт, 5 – рудные тела, 6 – метеорные осадки, 7 – ореольные напорные воды, 8 – гидрохимическая аномалия

Рис. 3.23. Схемы образования гидрохимических аномалий
(по В. И. Красникову, 1969)

Гидрохимические ореолы могут формироваться в надпочвенном льду и снеге за счет ионной миграции через капилляры льда и пленочную воду, обволакивающую кристаллы снега. С глубиной концентрация элементов увеличивается. Скорость аккумуляции составляет 2–3 месяца. В России и Канаде в надпочвенном льду и снеге установлены аномалии *Hg*, *Cu*, *Zn*, *Cd*, *Mn*, *Ni*, *Pb*.

На изучении рассматриваемых ореолов основана *снеговая съемка*, используемая при геолого-экологических и экологических исследованиях.

Газовые (атмохимические) ореолы рассеяния образуются за счет обогащения почвенного и приповерхностного воздуха паро- и газообразными соединениями, связанными с полезными ископаемыми. На изучении газовых ореолов рассеяния основан *атмохимический метод поисков*.

Газовые ореолы создают залежи, сложенные компонентами, способными создавать газовые эманации. По составу и особенностям формирования они подразделяются на три группы:

1. Ореолы (CH_4 , O_2 , SO_2 , Hg , He , тяжелые углеводороды и др.) над залежами нефти и газа (рис. 3.24).

2. Ореолы (H_2S , CO_2 , SO_2 , Hg и др.) над сульфидными месторождениями Pb , Zn , Cu , Hg , Sb и др.

3. Ореолы (Rn , He , Ar и др.), обусловленные распадом радиоактивных элементов в месторождениях U и Ra .

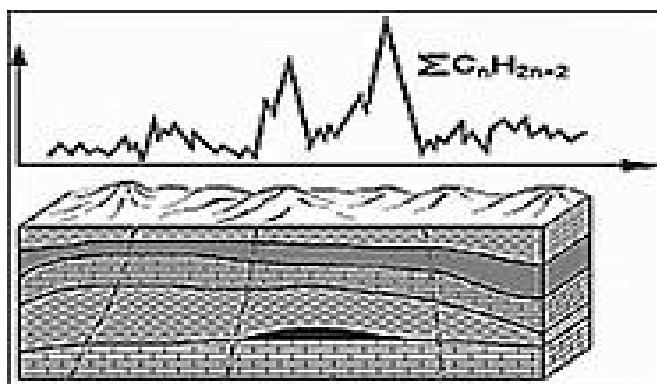


Рис. 3.24. Схема формирования ореола углеводородов над нефтяным месторождением

Биогеохимические ореолы рассеяния образуются вследствие увеличения концентрации элементов-индикаторов в растениях, произрастающих над залежами полезных ископаемых. На их изучении основан *биогеохимический метод поисков*.

Концентрация элементов растениями характеризуется следующими особенностями: 1) над месторождениями все растения имеют повышенную концентрацию элементов-индикаторов, 2) некоторые виды растений могут селективно концентрировать отдельные элементы (рис. 3.25), 3) отдельные органы растений могут избирательно концентрировать элементы-индикаторы.

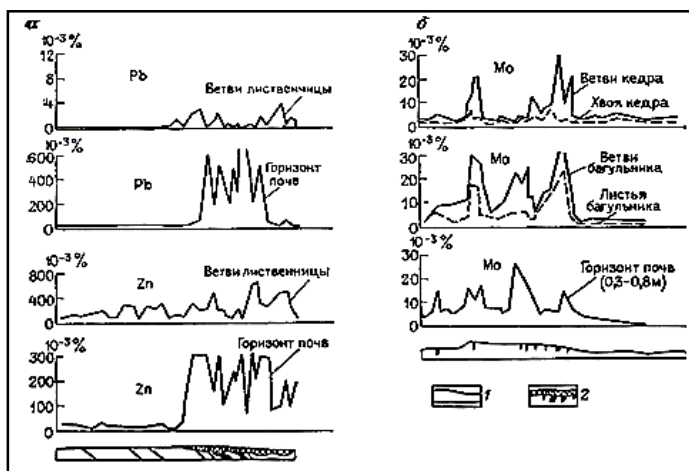


Рис. 3.25. Биохимические и литохимические ореолы рассеяния на Озерном полиметаллическом (а) и Булуктаевском молибден-вольфрамовом месторождениях (б) (по А. Л. Ковалевскому, 1984):

1 – вмещающие породы; 2 – рудные тела (черное) и железная шляпа

Концентрация элементов-индикаторов зависит:

- от глубины распространения корневой системы (рис. 3.26),
- возраста растения,
- сезонной миграции вод по органам растений.

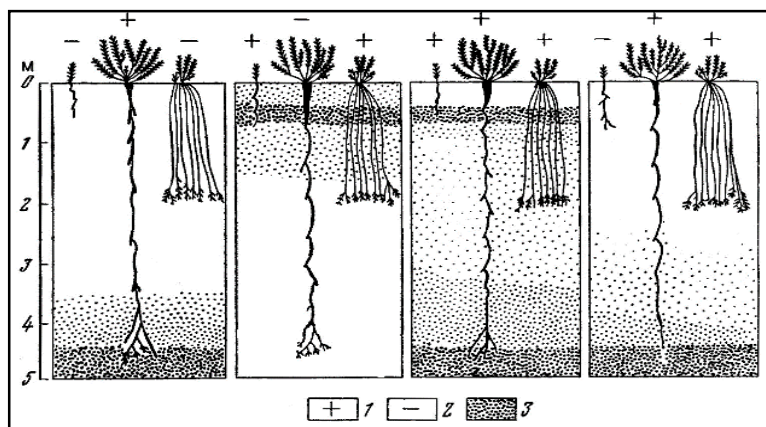


Рис. 3.26. Схема зависимости содержания бора в растениях от глубины проникновения корневой системы и распределения бора в породах (по А. М. Швыряевой, 1957):

1 – повышенные содержания бора в растениях; 2 – кларковые содержания бора в растениях; 3 – горизонты, обогащенные бором

Некоторые геофизические аномалии. Геофизические аномалии являются весьма важными поисковыми признаками, тем не менее далеко не всегда однозначно указывают на наличие в недрах полезных ископаемых. Это обусловлено множественностью факторов, влияющих на появление геофизических аномалий. Вследствие неоднозначности их интерпретации к прямым поисковым признакам принято относить лишь интенсивные и имеющие относительно большие размеры магнитометрические и радиоактивные аномалии. Первые обычно фиксируют наличие магнетитового оруденения, а вторые – присутствие в недрах руд радиоактивных элементов.

Большинство других геофизических аномалий интерпретируется неоднозначно и по этой причине их принято относить ко вторичным поисковым признакам.

Следы старых разработок, исторические (архивные) данные о горном промысле. На наличие полезных ископаемых в недрах указывают и следы их разработки и переработки, а также следы разведки: старые горные выработки (шурфы, шахты, карьеры, штольни, отвалы), содержащие рудную минерализацию, отвалы шлака, развалины доменных печей и т.п. Отвалы старых шахт и карьеров могут содержать полезные ископаемые, которые по количеству и качеству удовлетворяют современным требованиям к месторождениям полезных ископаемых. Это так называемые техногенные месторождения. При анализе такого рода информации обязательно следует использовать исторические данные о горном промысле, архивные материалы разнообразных экспедиций, фондовые материалы о геологоразведочных работах – старые проекты, отчеты, включая содержащуюся в них первичную документацию и т.п.

Косвенные поисковые признаки

Как отмечалось выше, косвенные поисковые признаки лишь опосредованно свидетельствуют о возможности обнаружения полезных ископаемых в определенных участках недр. В этом смысле они являются менее достоверными по сравнению с прямыми признаками. Однако использование косвенных поисковых признаков, учитывая их достаточно большое разнообразие, при комплексном анализе совместно с прямыми поисковыми признаками позволяет более надежно прогнозировать месторождения полезных ископаемых.

Косвенные поисковые признаки подразделяют на следующие шесть типов: 1) измененные околорудные породы, 2) минералы, сопутствующие оруденению (минералы-спутники), 3) различие физических свойств полезных ископаемых и вмещающих пород (геофизические признаки), 4) геоморфологические, 5) гидрогеологические, 6) ботанические.

Измененные околорудные породы. Очень большое количество залежей полезных ископаемых сопровождается горными породами, претерпевшими метасоматические изменения. Весьма важной для целей прогнозирования является установленная закономерность, заключающаяся в том, что в пределах отдельных генетических типов месторождений (включая геолого-промышленные типы) эти изменения являются достаточно устойчивыми и типичными. Рассматриваемый вопрос более глубоко изучается в дисциплине «Геология месторождений полезных ископаемых». Приведенные ниже типы околорудных изменений следует рассматривать лишь как примеры.

Околорудные изменения горных пород происходят на разных стадиях образования месторождений. Их принято подразделять на *гипогенные* и *гипергенные*.

Гипогенные околорудные изменения характеризуются большим разнообразием. К ним, в частности, относятся: грейзенизация, скарнирование, вторичное окварцевание, локальная серицитизация, локальная хлоритизация, березитизация, лиственитизация, серпентинизация, гидротермальная доломитизация, метасоматическая аргиллизация и др.

Грейзенизация. Грейзены представляют собой кварц-мусковитовые метасоматиты, образующиеся в апикальных частях гранитных массивов и над ними – в породах кровли. Они обычно сопровождают месторождения *W*, *Sn*, *Mo*, *Be*, *Li*, *Ta*.

Скарнирование. Скарны являются продуктами так называемого контактового метасоматоза, обусловленного обменными реакциями между компонентами экзоконтактовых вмещающих пород, содержащих пласты карбонатных пород, и компонентами, присутствующими в эндоконтактовых зонах гранитоидных массивов. Наиболее типичными минералами скарнов являются гранаты, пироксены, эпидот, скаполит и др. В нашей стране и за рубежом известно достаточно большое количество скарновых месторождений железа, полиметаллов, меди, молибдена, вольфрама, олова, бериллия, золота, кобальта, мышьяка, бора и др.

Окварцевание – весьма распространенное явление, характерное для высоко- и среднетемпературных гидротермальных месторождений. Вторичные кварциты в кислых эффузивах обычно сопровождают залежи алунитов, каолинитов, корунда; в породах среднего состава – рудные тела месторождений медных, полиметаллических, золото-серебряных месторождений; в окварцованных карбонатных породах (джаспероидах) – залежи полиметаллических и сурьмяно-ртутных руд.

Локальные серицитизация и хлоритизация обычно сопровождают рудные тела медно-колчеданных, колчеданно-полиметаллических месторождений, колчеданных месторождений золота, мышьяка, касситерита.

Березитизация. Березиты представляют собой кварц-серицит-карбонат-пиритовые метасоматиты. Они окружают залежи золоторудных, свинцово-цинковых, молибденовых, урановых месторождений, месторождений горного хрусталя, образовавшихся по породам кислого и среднего состава.

Лиственитизация (лиственит – низкотемпературный кварц-карбонат-талк-хлорит-серицит-фуксит-пиритовый метасоматит) по породам основного и ультраосновного состава характерна для месторождений золота, полиметаллов, молибдена, урана, талька, горного хрусталя и др.

Серпентинизация. Серпентиниты практически всегда сопровождают залежи хризотил-асбеста, образовавшиеся внутри массивов ультраосновных пород.

Доломитизация. Низкотемпературная гидротермальная доломитизация является весьма характерной для свинцово-цинковых, сидеритовых и баритовых месторождений так называемого стратиформного типа.

Аргиллизация (аргиллизит – низкотемпературный монтмориллонит-гидролюдаисто-каолинитовый метасоматит) часто сопровождает рудные тела низкотемпературных месторождений золота, серебра, урана, вольфрама, бериллия, а также залежи флюорита, горного хрусталя и др.

Гипергенные изменения связаны с поздними стадиями становления месторождений. Они происходят в приповерхностных зонах месторождений и обусловлены процессами выветривания. Отметим лишь некоторые из них.

Обохранение, осветление полезных ископаемых и вмещающих пород характерно для месторождений, сложенных сульфидными рудами. По этим рудам часто образуются так называемые «железные шляпы», сложенные гетитом, гидрогетитом, гематитом, халцедоном, опалом, малахитом и другими минералами. «Железные шляпы» могут иметь промышленное значение. Они часто содержат промышленные скопления железа, золота, малахита и др.

Минералы, сопутствующие оруденению (минералы-спутники). Данный поисковый признак основан на использовании парагенетических ассоциаций минералов для целей прогнозирования месторождений. В пределах рудноформационных типов эти ассоциации достаточно устойчивы. Поэтому, обнаружив один минерал, можно прогнозировать обнаружение и других минералов, входящих в состав ассоциации. Часто минеральные ассоциации имеют зональное строение. Как и околорудные измененные породы, парагенетические ассоциации могут быть гипогенными и гипергенными. Ниже приведены

примеры гипогенных парагенетических ассоциаций минералов, характерных для некоторых рудноформационных типов месторождений.

Медно-никелевые месторождения: пирротин, пентландит, халькопирит, миллерит, пирит, борнит, магнетит, платиноиды, золото и др.

Скарновые железорудные месторождения: магнетит, пирит, халькопирит, андрадит-гроссуляр, диопсид-геденбергит, эпидот, актинолит, полевые шпаты, скаполит, волластонит и др.

Штокверковые вольфрамовые месторождения: вольфрамит, молибденит, касситерит, висмутин, галенит, сфалерит, кварц, мусковит, флюорит и др.

Стратиформные месторождения медистых песчаников: халькопирит, борнит, халькозин, галенит, сфалерит, кварц, кальцит, барит и др.

Жильные свинцово-цинковые месторождения: галенит, сфалерит, халькопирит, пирит, арсенопирит, кварц, кальцит, флюорит, барит и др.

Колчеданно-полиметаллические месторождения: сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, марказит, кварц, барит, клинохлор, серицит и др.

Примеры гипергенных ассоциаций:

Зоны окисления сульфидных гидротермальных и колчеданных месторождений: гетит, гидрогетит, смитсонит, церуссит, халькозин, малахит, азурит и др.

Россыпи алмазов: алмаз, пироп, пикроильменит, хромдиопсид, оливин и др.

Россыпи золота: самородное золото, магнетит, циркон, касситерит, ильменит, гранаты, самородная платина и др.

Различие физических свойств полезных ископаемых и вмещающих пород (геофизические аномалии). Выявленные при геологических исследованиях геофизические аномалии указывают на неоднородности физических полей, являющиеся следствием неоднородностей геологического строения. Причины этих неоднородностей могут быть весьма разнообразными. Это – морфоструктурные и морфометрические особенности геологических структур, физико-механические свойства, химический, минеральный, литолого-петрографический состав тел полезных ископаемых и вмещающих пород и т.п.

Как отмечалось выше, лишь некоторые аномалии, в частности, магнитные и радиоактивные большого размера и интенсивности, интерпретируются более или менее однозначно и рассматриваются как прямые поисковые признаки. Большинство же геофизических аномалий имеет многовариантную интерпретацию и по этой причине относятся к косвенным поисковым признакам.

Геоморфологические поисковые признаки основаны на связи залежей полезных ископаемых и их околорудных изменений с микроформами рельефа. Наиболее отчетливо эта связь проявляется на участках «зрелого» рельефа.

Залежи, сложенные устойчивыми к выветриванию породами, образуют положительные формы рельефа (гряды кварцевых жил, пегматитов, вторичных кварцитов, дайки магматических пород и др.). Залежи, сложенные легко выветривающимися и растворимыми полезными ископаемыми (гипс, ангидрит, соли, сульфидные руды), образуют отрицательные формы рельефа: депрессии, впадины, карстовые воронки и т.п. К депрессиям в рельефе приурочены месторождения торфа, мезо-кайнозойских углей. Геоморфологические признаки лежат в основе поисков месторождений россыпей всех типов.

Гидрогеологические поисковые признаки. Важнейшей задачей гидрогеологических исследований является выявление в недрах водоносных и водоупорных свит, горизонтов, комплексов. Особенностью эндогенного оруденения является то, что оно обычно локализуется в горных породах, обладающих повышенной пористостью и проницаемостью. Таковыми являются водоносные толщи, которые в благоприятных условиях становятся рудовмещающими или служат путями миграции рудоносных флюидов. Водонепроницаемые горные породы также играют не последнюю роль в процессе рудообразования. Благодаря им происходит экранирование рудоносных флюидов, что способствует их локализации и формированию залежей полезных ископаемых.

Ботанические поисковые признаки. Высокая концентрация элементов в почвах, расположенных над залежами полезных ископаемых, может привести к появлению растений-индикаторов оруденения или к изменению внешнего вида растений. В частности, широко известным фактом является то, что в южной Сибири над залежами цинковых руд произрастает галмейная флора: галмейная фиалка (*Viola calaminaria*) и галмейная ярутка (*Thlaspi calaminarium*). Индикатором меди на Рудном Алтае и в Туве является кочим (*Gipsophila patrinii*).

Другой особенностью растений, произрастающих над залежами полезных ископаемых, является появление у них необычных так называемых *тератологических признаков*:

- изменение внешнего вида («гигантизм», уродливость, необычная окраска и форма цветов и листьев);
- отклонения в режиме развития (раннее или позднее цветение, опадание листьев и т.п.);
- угнетенный вид растений или их отсутствие.

При анализе ботанических признаков следует учитывать как широтную, так и вертикальную климатическую зональность, т.к. она вызывает изменение видового состава растительности и ее внешнего вида. Однако эти изменения прямого отношения к размещению полезных ископаемых не имеют.

3.3. Прогнозно-поисковые модели месторождений

При обобщении материалов по прогнозированию месторождений обязательно следует сравнить выявленные в процессе поисковых работ критерии прогнозирования с установленными для данного геолого-промышленного типа месторождений особенностями строения на других территориях. Эту информацию, представленную в виде прогнозно-поисковых моделей, можно найти в научных публикациях и методических руководствах.

Прогнозно-поисковая модель – это обобщенный вербальный, графический или иной образ (эталон) месторождений конкретного геолого-промышленного типа.

Модель дает ответы на вопросы: как выглядит скопление полезного ископаемого, в какой геологической обстановке и по каким признакам оно может быть обнаружено и оценено. На каждой стадии геологоразведочных работ выявляется определенный комплекс признаков, производится сравнение их с эталоном, оценивается надежность построений, корректировка самой модели. Основными элементами прогнозно-поисковых моделей являются следующие:

- 1) ассоциации горных пород, рудоносные геологические формации, их тектоническое положение и условия формирования; эти факторы определяют условия нахождения объекта;
- 2) прямые признаки, указывающие на наличие полезного ископаемого;
- 3) косвенные индикаторы оруденения, выявляемые минералогическими, геохимическими, геофизическими и другими методами;
- 4) изменение оруденения после завершения главного этапа рудоотложения: признаки скрытого оруденения, перекрывающие породы, уровень эрозийного среза, пострудные дислокации и регенерации рудных тел и т.п.

Прогнозно-поисковые модели изображаются в графической и/или табличной форме и сопровождаются пояснительным текстом. Примеры прогнозно-поисковых моделей приведены в табл. 3.4 и на рис. 3.27.

Сравнительный анализ исследуемых объектов с эталонными дает возможность более надежно прогнозировать месторождения и, кроме того, уточнять саму модель на основе вновь полученной информации.

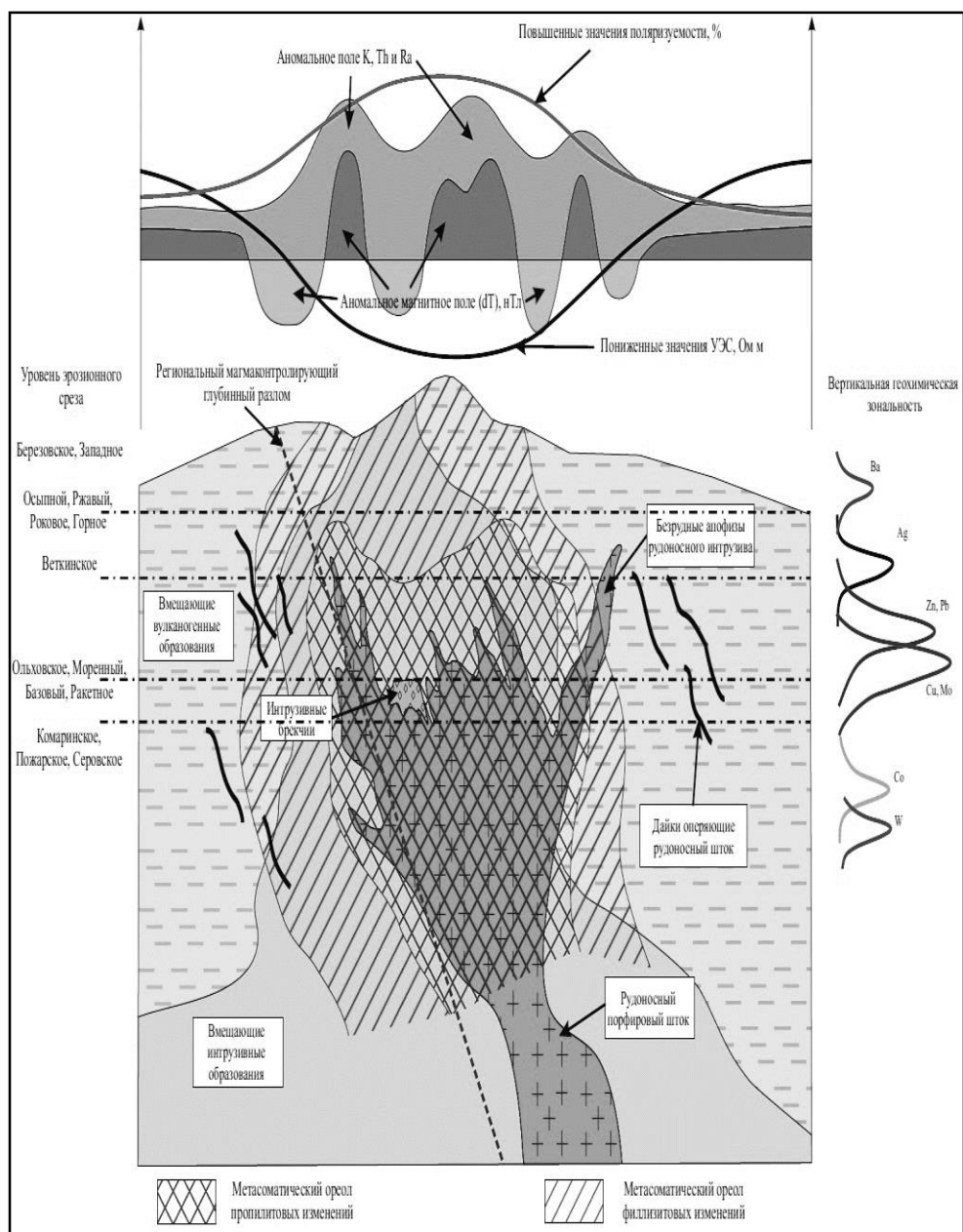


Рис. 3.27. Прогнозно-поисковая модель медно-порфировых объектов Чукотского АО
(по И. С. Сабельникову с упрощениями)

Таблица 3.4

Модель медно-порфировых объектов Чукотского АО
(по И. С. Сабельникову)

Элементы-признаки	Критерии прогнозирования медно-порфирового оруденения
1	2
1. Структурно-тектонические	Размещение в пределах Охотско-Чукотского вулканического пояса (ОЧВП)
	Приуроченность рудоносных магматических структур к Анадырскому глубинному разлому и оперяющим его разрывам
	Интрузивно-купольные и вулканические структуры, контролирующие размещение рудных полей
2. Формационные	Диорит-кварцмонзонит-гранитовая формация ОЧВП, представленная кавальянским интрузивным комплексом
	Габбро-диорит-тоналит-плагиогранитовая формация, связанная с этапом тектоно-магматической активизации ОЧВП, представленная палеогеновым интрузивным комплексом
	Габбро-тоналит-плагиогранитовая вулкано-плутоническая формация позднеюрско-раннемеловой Кони-Танюерерской островной дуги, представленная интрузивными образованиями раннемелового мургальского интрузивного комплекса
	Габбро-монзонит-диоритовая формация ОЧВП, представленная экитыкинским интрузивным комплексом
3. Магматические	1. Рудоносные штоки, сложенные порфировидными породами кислого и среднего состава заключительных фаз внедрения рудоносных интрузивных комплексов. 2. Тела брекчированных пород апикальных частей рудоносных штоков
4. Метасоматические	1. Зонально построенный относительно рудоносного штока гидротермально-метасоматический ореол, представленный от центра к периферии пропилитовым и филлизитовым типами. 2. Приуроченность промышленно значимой медно-порфировой минерализации к пропилитовой и филлизитовой зонам. 3. Эпидот-хлорит-полевошпат-кварцевые метасоматиты с серицитом и биотитом штокверкового типа, с халькопирит-пирит-магнетитовой минерализацией

1	2
5. Морфология оруденелых зон	Штокверки пропилитовых и филлизитовых метасоматитов, содержащие прожилково-вкрапленные руды
6. Минеральный состав руд	1. Первичные минералы: халькопирит, пирит, магнетит, молибденит, арсенопирит, теннантит, галенит, сфалерит, пирротин, самородное золото. 2. Вторичные минералы: лимонит, малахит, азурит, борнит, халькозин, ковеллин
7. Геохимические	1. Комплексные высококонтрастные зональные аномалии <i>Cu, Mo, Pb, Zn, Au, Ag</i> . 2. Латеральная зональность в рудных полях, имеющих эрозионный срез, близкий к рудному; преобладание аномалий <i>Cu</i> и <i>Mo</i> в центральных частях рудных полей, а аномалий <i>Pb, Zn, Ag, Au</i> – в периферических. 3. Вертикальный ряд зональности имеет следующую последовательность: <i>Ba, Pb, Zn, Ag</i> (надрудный ореол), <i>Cu, Mo</i> (околорудный ореол), <i>Co, W</i> (подрудный ореол)
8. Геофизические	1. Отрицательные аномалии магнитного поля, фиксирующие зоны развития метасоматически измененных пород. 2. Положительные аномалии ВП, отрицательные аномалии кажущегося и удельного электрического сопротивления пород, фиксирующие рудную минерализацию. 3. Положительные радиоактивные аномалии ^{40}K , Th и Ra над выходами интрузивных пород кислого состава, подвергнутых гидротермально-метасоматическим изменениям

4. МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В практике геологоразведочных работ применяется несколько десятков поисковых методов и их разновидностей. На конкретных же площадях используется лишь только часть из них. Это обусловлено геологическим строением территории поисков, видом полезного ископаемого и целым рядом других особенностей. Используются лишь методы, применение которых эффективно в конкретных условиях. Ниже приведена общая группировка методов поисков месторождений.

Группировка методов поисков месторождений

А. Наземные методы:

1. Геологическая съемка.

2. Поиски, основанные на изучении ореолов и потоков механического рассеяния:

- 2.1. Обломочно-речной,
- 2.2. Валунно-ледниковый,
- 2.3. Шлиховой.

3. Геохимические:

- 3.1. Литохимический по первичным ореолам рассеяния,
- 3.2. Литохимический по вторичным ореолам и потокам рассеяния,
- 3.3. Гидрохимический,
- 3.4. Атмохимический,
- 3.5. Биогеохимический.

4. Геофизические.

5. Экзотические.

Б. Дистанционные методы.

В. Подводные методы.

Значимость каждого из перечисленных методов далеко неоднозначна. Это обусловлено как их разрешающей способностью, эффективностью, так и стоимостью. В частности, такие группы методов, как дистанционные и подводные, для поисков твердых полезных ископаемых применяются пока в ограниченных масштабах. Это обусловлено тем, что локальное прогнозирование с их помощью отличается большой сложностью, а интерпретация данных имеет многовариантный характер. Густая сеть наблюдений, создаваемая при локальном прогнозировании, обуславливает высокую стоимость работ.

4.1. Наземные методы поисков

4.1.1. Геологическая съемка как важнейший метод поисков

Геологическая съемка является важнейшим методом поисков всех видов полезных ископаемых. Основным результатом геологосъемочных работ является геологическая карта, представляющая собой плоскую графическую модель геологического строения территории. В процессе геологосъемочных работ проводится широкий спектр геологических исследований: изучение стратиграфии, тектоники, магматизма, метаморфизма, геоморфологии, четвертичной геологии, гидрогеологии, инженерной геологии, геоэкологии, полезных ископаемых, закономерностей их размещения и др. В комплект обязательных геологических карт при геологосъемочных работах масштаба 1 : 200 000 в качестве обязательных входят: 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 процессе геологосъемочных работ проводятся геологические исследования, направленные не только на составление геологической карты, но и на площадное опоскование территории исследования. Это позволяет установить:

- поисковые предпосылки и признаки;
- закономерности размещения полезных ископаемых;
- степень перспективности территории на обнаружение полезных ископаемых;
- участки для постановки поисковых работ другими методами.

Материалы геологической съемки дают возможность объективно интерпретировать результаты поисков другими методами и давать геологическую оценку перспектив выявленных объектов.

Поисковые работы проводятся в различных масштабах. Особенностью поисковых работ стадии «Региональное изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых» является то, что при среднемасштабной (1 : 200 000, 1 : 100 000) и крупномасштабной (1 : 50000, 1 : 25000) геологических съемках они подчинены целям геологосъемочных работ и выполняются в составе единого проекта. Напротив, геологосъемочные работы более крупных масштабов (1 : 10 000, 1 : 5 000) обычно ведутся в составе стадии «Поисковые работы», являясь лишь частью обширного комплекса геологических исследований.

Важной характеристикой геологических карт является *кондиционность* – соответствие их содержания масштабу, что в значительной степени зависит от

количества точек наблюдения, приходящихся на единицу площади. Очевидно, что чем крупнее масштаб карты и сложнее геологическое строение территории, тем большее количество точек наблюдения требуется на единицу площади. Количество точек наблюдения на единицу площади должно соответствовать значениям, приведенным в методических рекомендациях по проведению геологосъемочных работ соответствующих масштабов.

При региональных геологосъемочных работах проводятся специальные поисковые маршруты с пересечением и прослеживанием минерализованных зон, изучением их геолого-структурных условий, вещественного состава и опробованием. В зависимости от конкретных условий могут проводиться специальные геологические съемки по изучению тектоники, стратиграфии, магматизма, метаморфизма, геоморфологии, вещественного состава залежей полезных ископаемых и рудовмещающих пород.

4.1.2. Поиски, основанные на изучении ореолов и потоков механического рассеяния

Обломочно-речной метод поисков

Обломочно-речной метод поисков является одним из наиболее древних. Его сущность заключается в выявлении и последовательном прослеживании устойчивых к выветриванию рудных обломков и сопровождающих их метасоматитов от места их первой находки в аллювиальных отложениях до коренного источника.

Опоискование территории ведется путем проходки специальных поисковых маршрутов по долинам рек снизу вверх по течению. При исчезновении признаков рудной минерализации в аллювии исследования переносятся на склоны и водораздельные участки. Полевая геологическая документация маршрутов включает в себя: отбор и документацию образцов; фиксацию находок рудных обломков и сопровождающих их метасоматитов на карте; геолого-геоморфологическое описание территории; литолого-петрографическое описание коренных пород, обломочного материала (включая количество, размер и окатанность обломков). На близость коренного источника указывает увеличение количества рудных обломков, уменьшение степени их окатанности, появление обломков неустойчивых минералов и последующее достаточно резкое исчезновение указанных признаков.

Дальнейшие исследования ведутся путем изучения пролювиальных, делювиальных и элювиальных отложений. При изучении склоновых отложений следует учитывать особенности формирования ореолов рассеяния, которые

зависят от характера рельефа и пространственной ориентировки залежи полезного ископаемого (см. рис. 3.21).

На основе детального обследования склоновых отложений осуществляется картирование ореола механического рассеяния. При картировании ореолов рассеяния обязательно должны использоваться результаты геолого-госъемочных работ, проведенных на площади ополаскивания. В «голове» ореола или несколько выше по склону, там, где ожидается обнаружение залежи полезного ископаемого, производится вскрытие горных пород канавами или неглубокими шурфами. Выработки документируются и опробуются. На участке детализации могут быть применены и другие методы поисков. На основе полученных материалов дается геолого-экономическая оценка выявленного объекта и принимается решение о целесообразности продолжения исследований.

Валунно-ледниковый метод поисков

Валунно-ледниковый метод поисков основан на изучении ореолов механического рассеяния в ледниковых отложениях. В процессе своего движения ледник вспахивает и перемещает обломочный материал вместе с обломками полезных ископаемых, образуя ореол.

Основанием для проведения работ являются находки рудных валунов в ледниковых отложениях. Направление движения ледника устанавливается по ориентировке ледниковых шрамов, «бараньих лбов», озов, друмлинов и т.п. Далее осуществляется проходка поисковых маршрутов, которые ориентируются поперек движения ледника. Пункты обнаружения рудных обломков фиксируются на карте, а в полевой книжке дается литолого-петрографическое описание рудных обломков и их спутников.

Оконтуривание ореола рассеяния ведется по крайним рудным обломкам. С учетом формы ореола и геологических особенностей территории производится вскрытие горными выработками и скважинами рудного тела, которое предполагается обнаружить в «голове» ореола (рис. 4.1). Выработки документируются и опробуются. При необходимости на участке детализации могут быть применены и другие методы поисков (геохимические, геофизические).

На основе комплексной интерпретации дается геолого-экономическая оценка выявленного объекта и принимается решение о направлении (прекращении) дальнейших исследований.

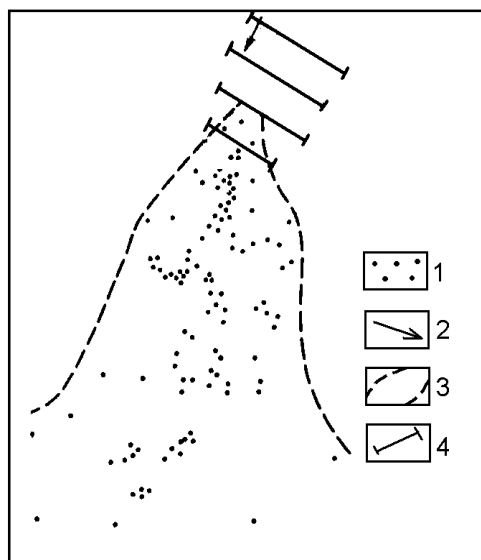


Рис. 4.1. Валунно-ледниковый ореол рассеяния (по В. В. Аристову, 1975):

1 – ледниковые валуны с рудными включениями; 2 – направление ледниковых штрихов; 3 – контур ореола рассеяния рудных валунов; 4 – проектируемые поисковые линии

Очевидно, что валунно-ледниковый метод поисков имеет ограниченные возможности применения, поскольку может использоваться только на площадях развития ледниковых отложений. В практике геологоразведочных работ известны факты обнаружения месторождений валунно-ледниковым методом в скандинавских странах (Финляндия, Норвегия), а также на территории России (Карелия, Кольский полуостров).

Шлиховой метод поисков

Шлиховой метод поисков основан на изучении ореолов рассеяния рудных обломков алеврито-песчаного (от долей миллиметров до первых миллиметров) размера, имеющих повышенную плотность. Шлих – это концентрат тяжелых минералов. К тяжелой (тяжелая фракция) относятся минералы, имеющие плотность более $2,89 \text{ г/см}^3$. Эту плотность имеет трибромметан (бромформ), используемый для разделения минеральных обломков на тяжелую и легкую фракции. Минералы, имеющие плотность больше плотности бромформа, относятся к тяжелой фракции, меньше плотности бромформа – к легкой.

Шлиховой метод применяется при поисках россыпных месторождений, залежи которых сложены тяжелыми минералами, устойчивыми (малорастворимыми и механически прочными) в водной среде. В частности, метод широко

используется при поисках россыпных месторождений золота, платиноидов, олова, вольфрама, титана, циркония, тантала, ниобия, редкоземельных элементов, алмазов, ювелирных и ювелирно-поделочных камней и некоторых других полезных ископаемых.

Метод обогащения проб, применяемый для получения шлихов, используется также и при поисках коренных месторождений (исследование протокочек коренных пород и руд), при изучении проб россыпных месторождений на стадии разведки, при шлихо-геохимических исследованиях (разновидность шлихового метода).

Основные операции шлихового метода поисков сводятся к следующему:

- выбор сети опробования;
- выбор места отбора проб;
- отбор проб;
- обогащение (промывка) проб для получения шлиха;
- полевая документация опробования;
- анализ шлихов;
- обобщение результатов опробования;
- интерпретация результатов шлихового опробования и геолого-экономическая оценка выявленных объектов.

Плотность (густота) сети шлихового опробования определяется масштабом поисковых работ. При поисках, проводимых в процессе средне- и крупномасштабного геологического картирования, отбор шлиховых проб ведется в основном из аллювиальных отложений. При более детальных исследованиях, помимо опробования аллювия, отбор проб осуществляется из пролювиальных, делювиальных и элювиальных отложений. При опробовании элювиально-делювиальных отложений пробы размещаются по профилям. Рекомендуемая плотность шлихового опробования приведена в табл. 4.1.

Выбор пунктов отбора проб определяется: 1) целевым назначением работ, 2) масштабом поисков, 3) геоморфологическими особенностями территории, 4) ожидаемой концентрацией ценных минералов, 5) закономерностями размещения концентраций минералов по вертикали и латерали.

Таблица 4.1

Густота сети отбора шлиховых проб

Масштаб поисков	Расстояние между пробами, м	Количество проб на 1 км ²
1 : 200 000	1 000–2 000	0,06–0,24
1 : 100 000	500–1 000	0,25–1,0
1 : 50 000	200–500	1–5
1 : 25 000	100–200	25–100
1 : 10 000	50–100	120–250
1 : 5 000	25–50	250–500
1 : 2 000	10–25	500 и более

При поисках минералов, не создающих высокие концентрации, на первых этапах важно установить сам факт их присутствия в рыхлых отложениях. Поэтому отбор проб для их обнаружения осуществляют из частей, наиболее обогащенных ими. Таковыми являются участки замедления течения реки, завихрения потока, расширения русла; участки, расположенные за выступами крутых берегов, ниже крутых поворотов, порогов, перекатов, в головах кос, а также участки резкой смены продольного профиля русла реки и т.п. (рис. 4.2). Эти участки характеризуются изменением динамики водных потоков, что и обеспечивает осаждение тяжелых минералов. Следует иметь в виду, что наиболее высокие концентрации тяжелых минералов наблюдаются в нижних приплотиковых частях рыхлых отложений. Поэтому при поисках эти части рыхлых отложений по возможности должны быть опробованы.

Пробы обязательно должны быть отобраны выше и ниже впадения притоков.

Для *отбора проб* проходятся легкие горные выработки: закопушки, канавы, шурфы. Применяются также колонковые скважины и скважины ударно-канатного бурения.

Отбор проб в горных выработках производится валовым или бороздовым способом. Скважины опробуются секционно: по керну или путем желонирования.

При валовом способе весь материал проходки выработки направляется в пробу. Для изучения распределения минералов в вертикальном разрезе (оконтуривания залежи при оценочных и разведочных работах) применяется секционное опробование шурфов «двадцатками» – длина секций принимается постоянной, равной 20 см.

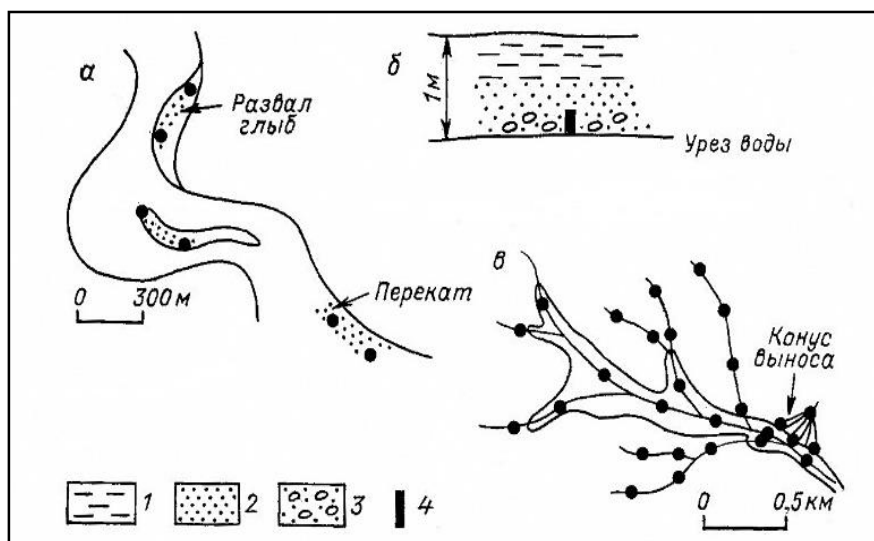


Рис. 4.2. Схема отбора шлиховых проб по молодой гидросети
(Полевая геология, 1989):

а, б – места отбора русловых проб; в – места отбора проб по гидросети.
1 – глины; 2 – пески; 3 – пески с галькой; 4 – место отбора пробы

Бороздовый способ применяется при опробовании обнажений и горных выработок. Борозда имеет форму четырехгранной призмы с поперечным сечением: ширина 15–20 см, глубина до 10 см. Длина проб 1–2 м. Борозды ориентируются перпендикулярно слоистости.

Отбор проб осуществляется с помощью лопаты или специального скребка («гребка»). Стандартный объем проб 20 л (30–32 кг). Их объем определяется с помощью мерного ящика (ендовки), имеющего мерную риску.

Отобранные пробы подвергаются *промывке* с целью получения концентрата тяжелых минералов – шлихов. Промывка проб в лотках (рис. 4.3; 4.4) проводится как в открытых водоемах (реках, озерах, старицах) в летнее время, так и в зумпфах (в основном зимой) в специально оборудованных передвижных домиках-промывалках. *Зумпф* – это емкость для воды, изготовленная из листового железа. Размеры зумпфов могут быть различными, но наиболее часто используются зумпфы, имеющие следующие размеры: длина 1 500 мм, ширина 1 000 мм, высота 250–300 мм. Зумпф устанавливается на металлической подставке таким образом, чтобы под ним можно было развести костер или поставить печку.

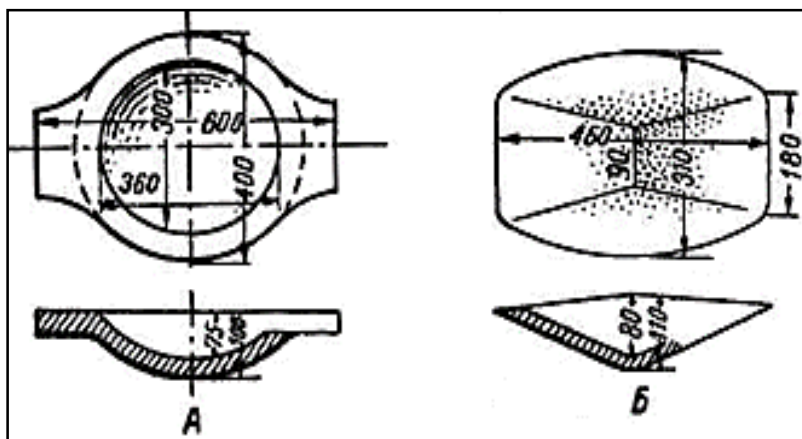


Рис. 4.3. Лотки, применяемые при шлиховом опробовании:
А – сибирский, Б – корейский (см)



Рис. 4.4. Лоток старателя (диаметр 365 мм)
(производитель – компания ALLUVIAL PACIFIC (США))

Промывка проб состоит из трех последовательных операций: пробуторка, отмывка песчаной фракции и доводка шлиха.

Пробуторка проб осуществляется с целью удаления глинистой фракции. Для этого проба засыпается в лоток, который погружается в воду, и замачивается. Затем с помощью скребка материал осторожно перемешивается. При этом легкие глинистые частицы взмучиваются и уносятся потоком воды, а более крупные и тяжелые остаются в лотке. Параллельно вручную удаляются галечная и щебнистая фракции. Этот материал споласкивается над лотком водой, просматривается на предмет выявления рудной минерализации и после этого выбрасывается в отвал. Отмучивание глинистой фракции проводится до тех пор, пока в лотке будет находиться только однородная песчаная фракция и при

ее перемешивании вода будет оставаться чистой и прозрачной. Для пробурки проб используются и другие приспособления: шейкеры, щелевые грохоты и т.п.

Отмывка песчаной фракции выполняется при активном потряхивании лотка под водой. Его держат за край и слегка наклоняют от себя, опустив противоположный конец в воду. Лотку придают возвратно-поступательные и одновременно колебательно-вращательные движения, что заставляет воду в лотке активно перемещаться. В результате зерна отдельных минералов распределяются в воде по плотности: тяжелые минералы оседают в углублении в центре лотка, а легкие песчинки постепенно перемещаются к краю лотка и смываются водой.

Доводка шлиха проводится в доводочном зумпфе осторожно, так как при выполнении именно этой операции возможны наибольшие потери рудных минералов. Для этого промывальщики часто используют специальные более легкие доводочные лотки, позволяющие вести отмывку шлиха более осторожно. При доводке шлиха лоток погружают под воду и качательно-круговыми движениями взмучивают в нем шлих, а затем, потряхивая лоток, сгоняют к переднему краю зерна легких минералов и сливают их с водой. Повторяя эти операции несколько раз, из шлиха удаляют остаток легкой фракции.

Правильное определение конца доводки шлиха является важным моментом. Как правило, промывку шлиховых проб ведут до получения серого шлиха, так как в этом случае в шлихе будут сохранены зерна полезных минералов не очень большой плотности (например, рутил, пирохлор, лейкоксен, монацит и др). Этот момент отчетливо устанавливается, когда через края лотка начинают переплывать ярко-красные обломки зерен граната, бурые зерна титанита (благодаря своей яркой окраске они хорошо различимы в мокром шлихе). Ни в коем случае нельзя промывать пробы до черного шлиха, так как при этом теряется основная масса зерен рудных минералов, и в шлихе сохраняются главным образом ильменит, магнетит и другие малоинтересные в поисковом отношении минералы. Промывку проб до черного шлиха можно вести только при проведении специальных поисковых работ на определенную группу тяжелых рудных минералов – золото, платину, иногда – касситерит, вольфрамит.

Серый или черный шлих из доводочного лотка споласкивается водой в металлический совок, затем высушивается на солнце или путем легкого подогрева на костре (в печке). Сухой шлих ссыпается в бумажную капсулу, на которой карандашом наносится название партии, ручья или речки, номер линии, выработки, пробы, содержание полезного ископаемого, определенного визуально.

Для обогащения проб в настоящее время используются и более современные аппараты: винтовые сепараторы (рис. 4.5), винтовые сепараторы (рис. 4.6) и др.

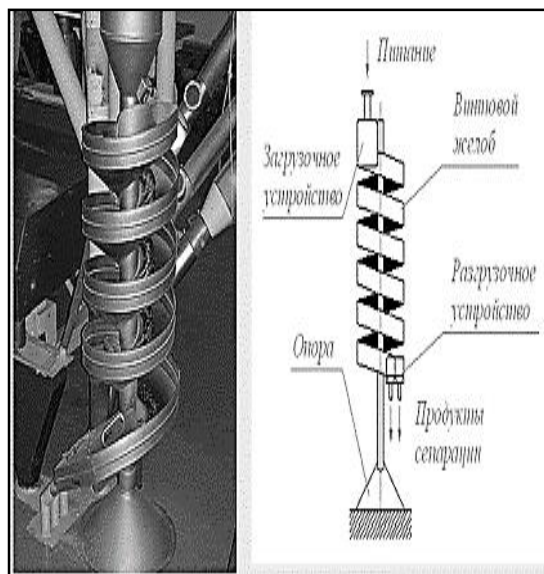


Рис. 4.5. Винтовой сепаратор:
(по Б. М. Осовецкому, 2009):
слева –общий вид,
справа –схема строения



Рис. 4.6. Обогащение мелкообломочного материала на винтовом шлюзе
(по Б. С. Луневу, Б. М. Осовецкому, 2009)

Анализ шлихов. Серые шлихи (концентраты шлюзов) перед изучением минерального состава подвергаются лабораторной обработке, включающей в себя различные виды фракционирования (рис. 4.7). Отбор средней (представительной) пробы производится с помощью делителя Джонса (рис. 4.8) или способом квартования (рис. 4.9).

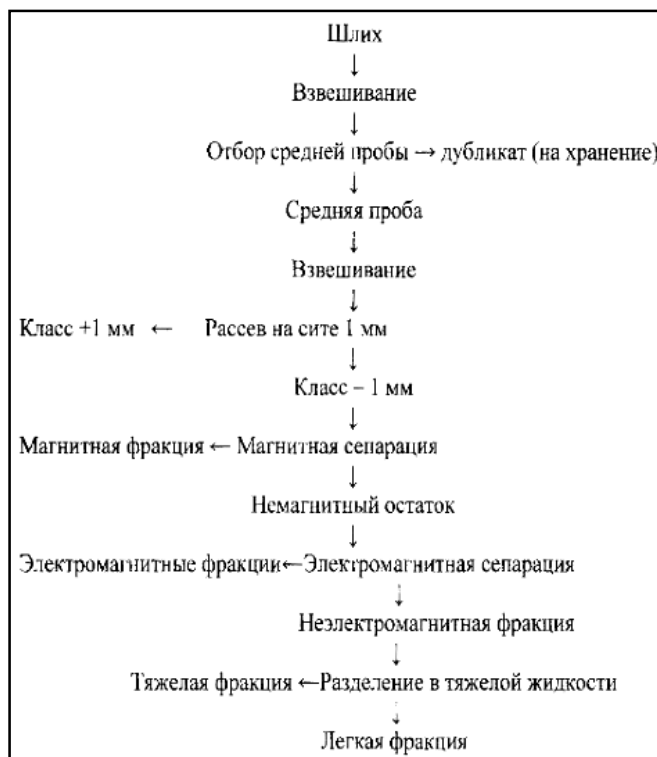


Рис. 4.7. Типовая схема лабораторной обработки «серого» шлиха

Шлиховое опробование сопровождается *полевой документацией*, которая включает:

- изображение пунктов отбора проб на карте (составление карты шлихового опробования);
- геолого-геоморфологическое описание в полевой книжке места отбора пробы (геоморфологическая характеристика, возраст отложений, фация, характер долины, крупность материала, литолого-петрографический состав отложений, степень их сортировки, окатанности, глинистость, выход шлиха и его состав, присутствие полезных минералов и др.);
- заполнение журнала шлихового опробования (табл. 4.2).

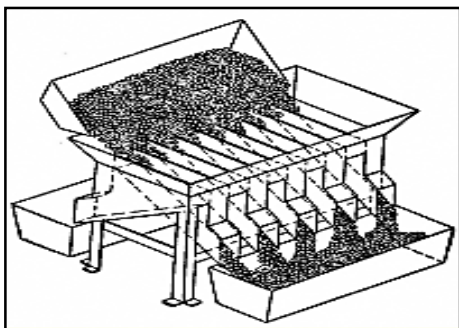


Рис. 4.8. Делитель Джонса

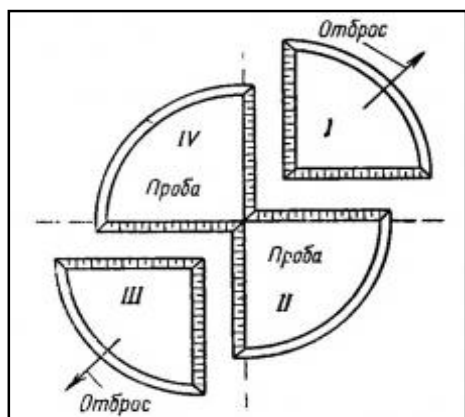


Рис. 4.9. Сокращение пробы способом квартования

Таблица 4.2

Форма журнала шлихового опробования

№ п/п	Дата отбора пробы	Привязка	Количество промытой породы, кг	Характер промытого материала	Минеральный состав шлиха (полевое определение)	Литолого-петрографический состав галек и валунов	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8

Магнитная сепарация осуществляется с помощью постоянных магнитов; электромагнитная сепарация – с помощью электромагнитов; разделение на легкую и тяжелую фракции – в тяжелых жидкостях (обычно в бромформе). Каждая фракция может подвергаться рассеву для последующего изучения ее гранулометрии. Все фракции обязательно взвешиваются.

В результате магнитной и электромагнитной сепараций проба разделяется на три фракции: магнитную, электромагнитную и неэлектромагнитную. Каждая из выделенных фракций изучается самостоятельно. В таблице 4.3 приведены наиболее типичные минералы указанных фракций.

При диагностике шлиховых минералов используется комплекс разнообразных методов: микроскопический, иммерсионный, качественных и плечных химических реакций, люминесцентный, радиометрический, рентгеноструктурный, термический, количественный спектральный, микрозондовый и др.

Количественный анализ производится путем изучения выборки зерен (обычно 500–1 000 шт.) В зависимости от задач исследования может производиться как полный анализ шлихов (диагностика всех зерен в выборке и их количественная оценка), так и неполный (определение только россыпеобразующих минералов: полезных минералов и минералов-спутников).

Таблица 4.3

Типичные минералы магнитной, электромагнитной и неэлектромагнитной фракций шлихов

Магнитная фракция	Электромагнитная фракция			Неэлектромагнитная фракция	
	сильно	средне	слабо	тяжелая	легкая
Магнетит	Гематит	Гиперстен	Тремолит	Циркон	Кварц
Пирротин	Ильменит	Ставролит	Энстатит	Рутил	Плагиоклазы
Ферроплатина	Альмандин	Гидрогетит	Пирролюзит	Дистен	Калиевые полевые шпаты
Самородное железо	Хромит	Эпидот	Диопсид	Лейкоксен	Мусковит
	Гетит	Актинолит	Железистый рутил	Золото	Кальцит
	Геденбергит	Эгирин	Титанит	Алмаз	Берилл
	Роговая обманка	Платиноиды	Клиноцоизит	Самородная медь	Сerpентин
	Авгит	Биотит	Монацит	Силлиманит	Графит
	Фаялит		Турмалин	Андалузит	
			Шпинель	Корунд	
				Топаз	
				Апатит	
				Барит	

На основе пересчетов с учетом массы исходной пробы определяется содержание минерала в граммах (миллиграммах, каратах) на кубический метр, реже устанавливается массовая или объемная доля минерала, которая выражается в процентах). При поисках часто в качестве количественной характеристики используют единицу измерения – количество знаков (ЗН) в пробе. Знак (ЗН) – зерно минерала независимо от его размера.

Обобщение материалов илихового опробования проводится статистическими и графическими методами.

Статистическая обработка включает в себя расчеты стандартных статистик распределения и связи: средних, среднеквадратических отклонений, дисперсий, асимметрии, эксцессов, коэффициентов вариации, коэффициентов корреляции, уравнений регрессии. Строятся гистограммы и графики распределения содержаний минералов, гранулометрического состава и др.

Графическое обобщение материалов заключается в построении разнообразных карт: выхода тяжелой фракции, точечных (рис. 4.10), кружковых (рис. 4.11), ленточных шлиховых карт (рис. 4.12), карт в изолиниях содержаний. По отдельным водотокам, а также скважинам и горным выработкам строятся графики изменения содержаний минералов, их свойств и др.

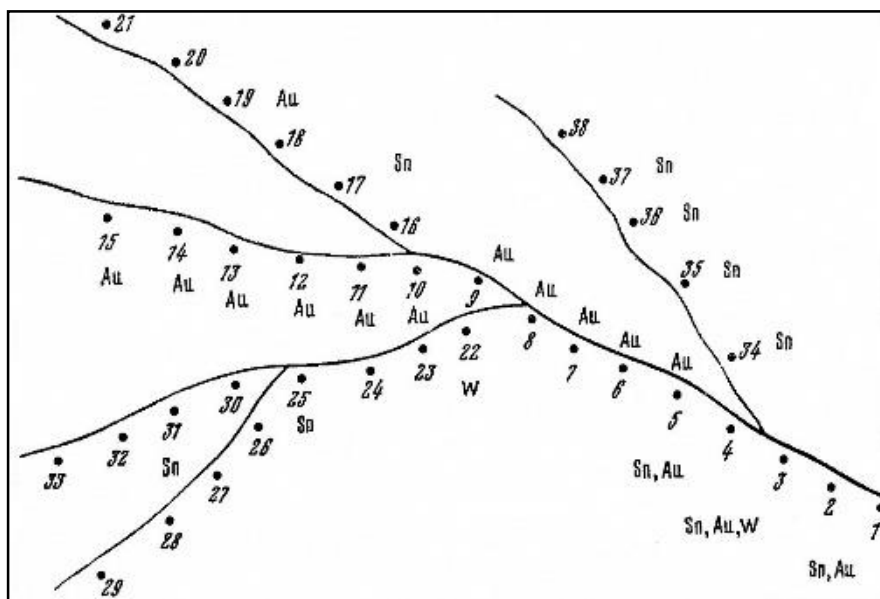


Рис. 4.10. Точечная шлиховая карта (по Е. О. Погребницкому, 1977)

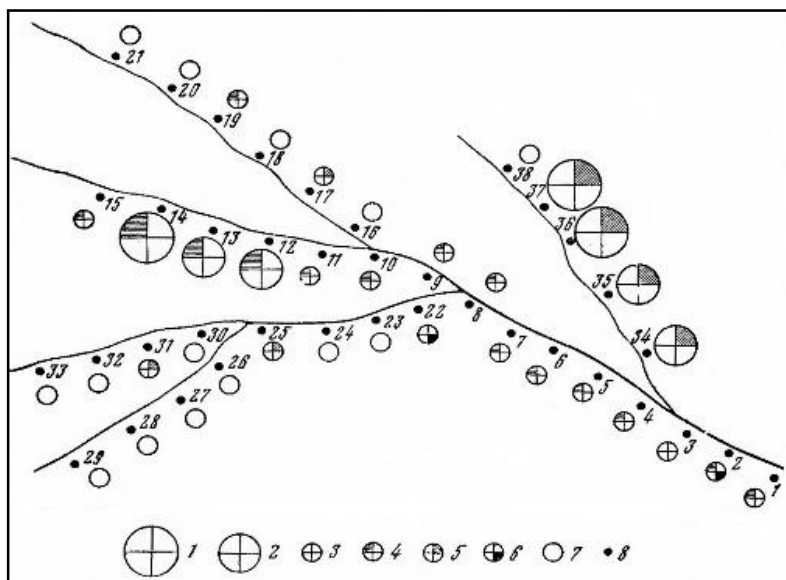


Рис. 4.11. Кружковая шлиховая карта (по Е. О. Погребницкому, 1977):
1 – много минерала; 2 – среднее количество минерала; 3 – мало минерала;
4 – золото; 5 – касситерит; 6 – шеелит; 7 – шлиховые минералы
отсутствуют; 8 – места отбора проб

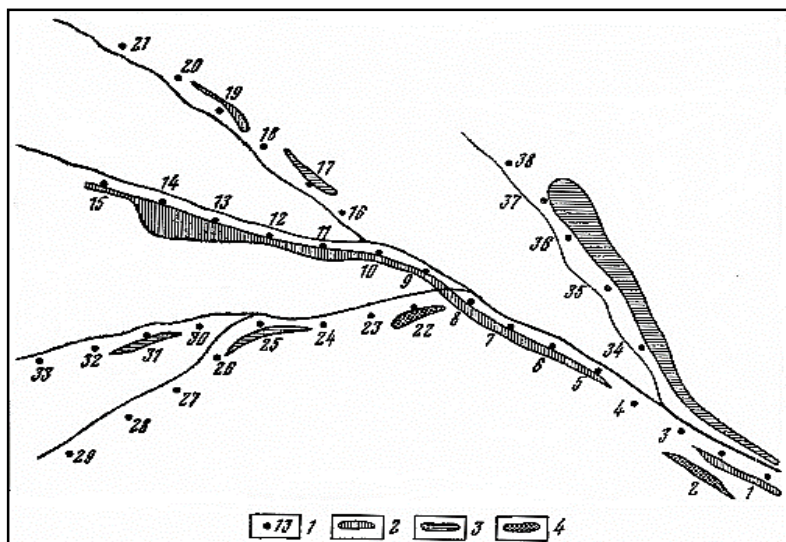


Рис. 4.12. Ленточная шлиховая карта (по Е. О. Погребницкому, 1977):
1 – номер пробы; 2 – золото; 3 – касситерит

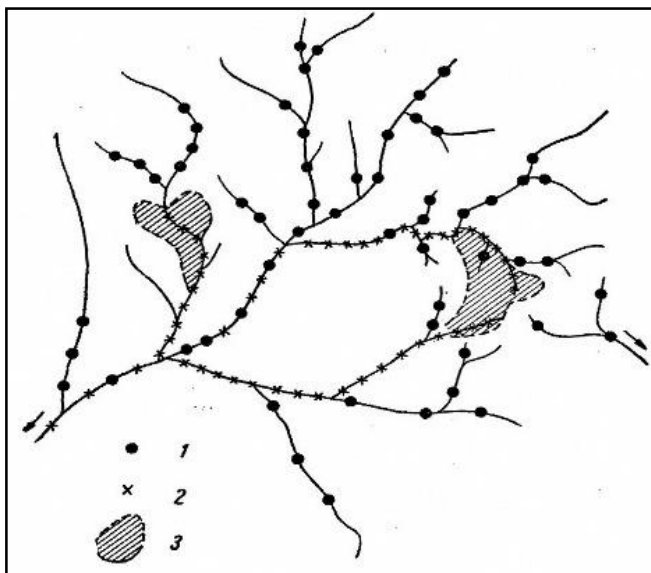


Рис. 4.13. Выявленные по результатам шлихового опробования участки возможного нахождения делювиальных россыпей (по Д. В. Воскресенскому):

- 1 – пустые пробы; 2 – пробы, содержащие полезные минералы в шлихах;
- 3 – площади, к которым приурочены коренные месторождения

Следует иметь в виду, что строить шлиховые карты в изолиниях можно лишь для площадей, на которых проведено детальное опробование по достаточно густой сети. Применение метода интерполяции при этом имеет существенное ограничение: между содержаниями минералов в пробах, отобранных по разные стороны водоразделов и тальвегов водотоков, интерполировать нельзя, т.к. линии водоразделов и тальвегов являются инвариантными.

Результаты статистических и графических обобщений материалов шлихового опробования должны получить геологическую интерпретацию. По материалам шлиховых поисков могут быть выявлены два типа объектов: россыпные и коренные.

Выявленные шлихо-минералогические аномалии должны быть объяснены с точки зрения причинной обусловленности: источники питания, ожидаемый геолого-промышленный тип коренного оруденения, критерии прогнозирования и т.п. (рис. 4.13). Для этого ведется комплексный анализ материалов геологической съемки и шлихового опробования. Минеральные ассоциации шлихов, включая минералы-спутники, позволяют более целенаправленно вести поиски и коренных месторождений.

Для аномалий определяются прогнозные ресурсы полезного ископаемого с использованием районных или браковочных кондиций (см. 9.3). Для

перспективных объектов по укрупненным показателям рассчитываются экономические показатели эксплуатации. На основе этих данных производятся разбраковка аномалий, выбор наиболее перспективных и принимается решение о направлении (или прекращении) дальнейших исследований.

Разновидностями шлихового метода поисков являются протолично-шлиховой и шлихо-геохимический методы.

Протолично-шлиховой метод основан на изучении ореолов рассеяния акцессорных минералов тяжелой фракции коренных горных пород. В зависимости от целевого назначения и ожидаемой концентрации акцессорных минералов из коренных пород отбираются пробы массой 2–3÷10–15 кг.

Отобранные пробы подвергаются обработке с использованием дробильных механизмов (щековые, валковые дробилки), стандартных наборов сит и приспособлений для сокращения. В результате должны быть получены протопочки, в которых материал имеет крупность не более 1–2 мм.

Обогащение дробленых проб ведется путем промывки в лотках или с помощью винтовых шлюзов (сепараторов). Полученные шлихи подвергаются фракционированию (аналогично тому, как это делается при изучении рыхлых отложений) и последующему количественному определению минерального состава.

Результаты количественно-минералогических определений состава протопочек являются основой для обобщения, интерпретации и прогнозирования оруденения в коренных горных породах.

Шлихо-геохимический метод поисков. Эффективность и информативность шлихового метода могут быть существенно повышены, если шлих в целом или его отдельные фракции подвергаются химическому анализу (обычно используется приближенно-количественный спектральный или атомно-абсорбционный методы). Контрастность аномалий резко увеличивается, если анализируется не весь шлих, а его отдельные фракции. Сочетание в одном методе минералогической и геохимической информации увеличивает геологическую эффективность поисковых работ.

4.1.3. Геохимические методы поисков

Геохимические методы поисков основаны на изучении закономерностей распределения химических элементов и их природных соединений в литосфере, гидросфере, атмосфере и биосфере. В зависимости от сферы изучения они подразделяются на литохимический (металлометрический), гидрохимический, атмосферический и биохимический. Литохимический метод включает в себя три

разновидности: литохимический по первичным ореолам рассеяния, литохимический по вторичным ореолам рассеяния, литохимический по потокам рассеяния. Все работы, связанные с геохимическими поисками месторождений, ведутся в соответствии с действующей «Инструкцией по геохимическим методам поисков рудных месторождений, 1983».

*Литохимический метод поисков
по первичным ореолам рассеяния*

Сущность метода заключается в выявлении повышенных концентраций элементов-индикаторов оруденения и их спутников в коренных породах. Площадные исследования данным методом возможны лишь на участках с хорошей обнаженностью, а также на участках, имеющих небольшую мощность рыхлых отложений, позволяющую осуществлять отбор проб непосредственно из обнажений или с применением легких выработок (расчистки, закопушки). Все пройденные горные выработки и скважины должны быть также подвергнуты опробованию.

Сеть опробования зависит от масштаба исследований. При средне- и крупномасштабном изучении территорий отбор проб ведется в процессе проведения геологосъемочных маршрутов. При детальных исследованиях масштаба 1:10 000 и крупнее опробование осуществляется специальными маршрутными группами. При этом пробы отбираются по профилям, которые ориентируются вкрест простирания основных геологических структур.

Сеть отбора проб, как правило, неравномерная: расстояние между маршрутами и профилями в 5–10 раз больше, чем расстояние между пробами (табл. 4.4). Это обусловлено анизотропией геологических структур и геохимических полей, выражающейся в том, что изменчивость по простиранию существенно меньше изменчивости вкрест простирания.

Отбор проб на обнажениях, в горных выработках и скважинах производится методом пунктирной борозды путем отбойки 8–10 сколков размером 2–3 см на одинаковом расстоянии друг от друга. Отобранные кусочки объединяют в одну пробу по каждому интервалу длиной 5–10 м. Нельзя объединять в одну пробу материал, имеющий различный литолого-петрографический состав. Опробование должно быть сплошным: пробы должны примыкать одна к другой. Масса проб 150–200 г.

Таблица 4.4

Густота сети опробования при литохимическом
методе по первичным ореолам рассеяния
(Инструкция по геохимическим методам поисков..., 1983)

Масштаб поисков	Расстояние между маршрутами или профилями, м	Расстояние между пробами, м	Количество проб на 1 км ²
1 : 50 000	500	50	40
1 : 25 000	250	20–40	100–200
1 : 10 000	100	10–20	500–1 000
1 : 5 000	50	10	2 000
1 : 2 000	20	5	10 000

В скважинах при низком выходе керна опробуется шлам. При бурении с промывкой следует учитывать состав глинистого раствора и возможность избирательного разрушения керна. Отбор проб сопровождается полевой геологической документацией, включающей фиксацию пункта отбора на карте и в полевом журнале с указанием литолого-петрографического состава пород.

Обработка проб включает в себя следующие операции:

- 1) дробление в щековых дробилках до крупности менее 5 мм;
- 2) измельчение в валковых дробилках до крупности менее 1 мм;
- 3) перемешивание по способу кольца и конуса и сокращение методом квартования до 50–100 г;
- 4) истирание на дисковых, вибрационных и других истирателях до 0,1–0,07 мм;
- 5) разделение квартованием на пробу, направляемую на анализ, и дубликат.

Пробы, помещенные в капсулы, вместе с сопровождающей ведомостью направляются в лабораторию для анализов.

Информация обобщается статистическими и графическими методами на ЭВМ с применением стандартных программ.

Статистическая обработка включает в себя определение фоновых и минимально аномальных содержаний; стандартных статистик распределения и связи элементов: средних значений, среднеквадратических отклонений, дисперсий, асимметрии, эксцессов, коэффициентов вариации, коэффициентов корреляции, уравнений регрессии.

Графическая обработка заключается в построении графиков изменения содержаний элементов по выработкам и профилям, а также в построении планов, карт и разрезов в изолиниях содержаний. Строятся моноэлементные и полиэлементные графики, планы и карты в изолиниях содержаний.

Моноэлементные – это графические документы, на которых показано изменение концентрации одного элемента. На полиэлементных графических документах изображаются геохимические поля комплексных характеристик, определенных путем сложения, умножения, деления. Полиэлементные поля строятся для повышения надежности выявленных аномалий, что обусловлено тем, что они учитывают сразу несколько элементов.

Геохимический фон (C_{ϕ}) – местное среднее содержание химического элемента в горных породах, почвах, природных водах, приземной атмосфере и растениях за пределами месторождений и проявлений полезных ископаемых. Фоновое содержание соответствует преобладающим относительно низким и устойчивым содержаниям элемента в пробах, отобранных на участках маршрутов и профилей, заведомо удаленных от геохимических аномалий (рис. 4.14). Определяется как среднее по 100–250 пробам.

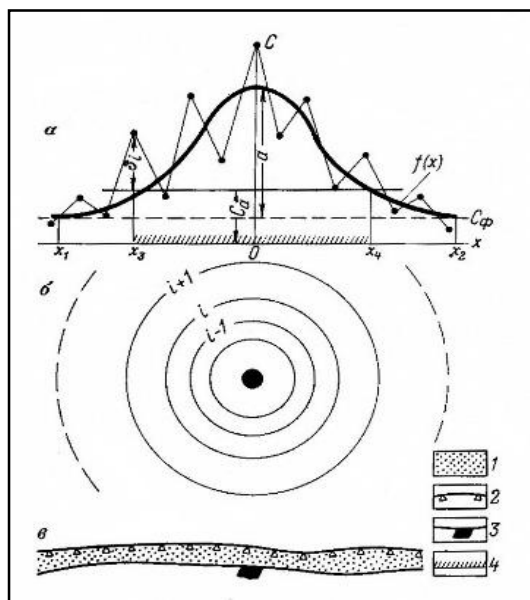


Рис. 4.14. Плоский ореол рассеяния вещества (б) и его сечение (а) по профилю (в) (по В. Ф. Мягкову, 1984): 1 – рыхлые образования; 2 – точки опробования; 3 – выход рудного тела под наносами; $f(x)$ – регулярная компонента поля; δ_i – случайная компонента поля; C_{ϕ} – предел рассеяния вещества (фоновое содержание); C_a – минимально аномальное содержание

Геохимическая аномалия – участок земной коры или поверхности, отличающийся существенно повышенными концентрациями каких-либо элементов или их соединений по сравнению с фоновыми. Для выделения одиночных аномалий элементов, имеющих нормальное распределение частот, минимально аномальное содержание (C_a) определяется по формуле

$$C_a = C_{\phi} + 3S,$$

где S – среднее квадратическое отклонение:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (C_{\phi} - C_i)^2}.$$

Для логнормального распределения минимально аномальное содержание (C_a) рассчитывается по формуле

$$C_a = C_g \cdot \sigma^3,$$

где σ – стандартный множитель; C_g – среднее геометрическое:

$$C_g = \sqrt[n]{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \dots \cdot C_n};$$

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ – содержания элементов в частных пробах.

Стандартный множитель определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\lg C_g - \lg C_i)^2}.$$

Элементы, концентрации которых близки к фоновым, из дальнейшей обработки исключаются вследствие малой информативности.

Перед построением полиэлементных геохимических полей необходимо выявить парагенетические ассоциации элементов. Для этого следует рассчитать коэффициенты парной корреляции и составить их корреляционную матрицу. В ассоциацию включаются элементы, имеющие между собой статистически значимые положительные связи.

Парагенетическая ассоциация, в которую входят главные элементы, определяющие тип ожидаемого оруденения, называется типоморфной. Пример выделения парагенетических ассоциаций приведен в табл. 4.5. Эти данные позволяют выделить две парагенетические ассоциации: 1) *Zn, Pb, Cu, Ag, Cd*; 2) *Cr, Ni, Co*. Причем первая ассоциация является типоморфной, т.к. в нее входят главные элементы полиметаллических месторождений.

Таблица 4.5

Пример выделения парагенетических ассоциаций элементов
полиметаллического месторождения
на основе матрицы коэффициентов корреляции

	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Cu</i>	<i>Ag</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Co</i>
<i>Zn</i>	1							
<i>Pb</i>	+	1						
<i>Cu</i>	+	+	1					
<i>Ag</i>	+	+	+	1				
<i>Cd</i>	+	+	+	+	1			
<i>Cr</i>	-	-	-	-	-	1		
<i>Ni</i>	-	-	-	-	-	+	1	
<i>Co</i>	-	-	-	-	-	+	+	1

Примечание. Статистически значимые коэффициенты корреляции:
+ – положительные; - – отрицательные

При графическом обобщении геохимической информации строятся следующие виды полиэлементных полей:

- аддитивные,
- отношений,
- мультипликативные.

Аддитивные [*add* (англ.) – *складывать*] поля – это поля сумм содержаний элементов, например, поле суммы содержаний $Zn+Pb+Cu+Ag+Cd$. Операцию сложения целесообразно применять для элементов, имеющих между собой положительную корреляционную связь. Пример аддитивных полей, изображенных на разрезах, приведен на рис. 4.15.

Поля отношений – это поля характеристик, полученных путем деления содержаний элементов, например, поле отношения $Cu : Ni$. Поля отношений обычно применяются для элементов, имеющих между собой отрицательную корреляционную связь.

Мультипликативные поля – это поля комплексных характеристик, полученных путем умножения и деления содержаний элементов. Например, поле произведений содержаний $Cu \cdot Zn \cdot Pb \cdot Ag \cdot Cd$.

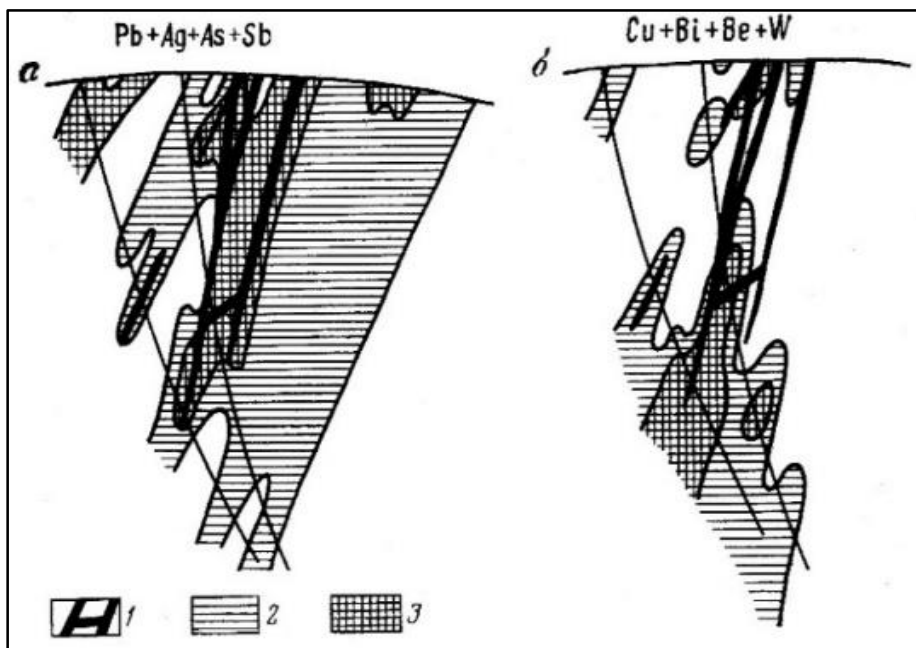


Рис. 4.15. Аддитивные ореолы элементов-индикаторов оруденения в разрезе (по С. В. Григоряну, 1987):

1 – рудные тела; 2 – участки умеренных значений аддитивного показателя; 3 – участки высоких значений аддитивного показателя

Методы аддитивных, мультипликативных полей и полей отношений элементов применяются для повышения надежности оценки полиэлементных аномалий. Для исключения искажающего влияния уровня концентраций отдельных элементов и повышения их информативности перед сложением, умножением или делением целесообразно произвести операцию нормирования. Нормированные значения содержаний элементов получаются путем их деления на фоновые значения. Сущность нормирования заключается в приведении измеряемой величины в масштаб стандартных отклонений.

Примеры нормированных аддитивных характеристик (K_a):

$$K_a = \frac{Zn_i}{S_{Zn}} + \frac{Pb_i}{S_{Pb}} + \frac{Cu_i}{S_{Cu}} + \frac{Ag_i}{S_{Ag}} + \frac{Cd_i}{S_{Cd}},$$

$$K_a = \frac{Zn_i}{Zn} + \frac{Pb_i}{Pb} + \frac{Cu_i}{Cu} + \frac{Ag_i}{Ag} + \frac{Cd_i}{Cd}.$$

В первой формуле нормирование произведено по среднеквадратическим отклонениям (S), во второй – по средним значениям элементов: $\overline{Zn}, \overline{Pb}, \overline{Cu}, \overline{Ag}, \overline{Cd}$.

Для случая, приведенного в табл. 4.5, мультипликативная характеристика (K_m) должна быть следующей:

$$K_m = \frac{\frac{Zn_i}{S_{Zn}} \cdot \frac{Pb_i}{S_{Pb}} \cdot \frac{Cu_i}{S_{Cu}} \cdot \frac{Ag_i}{S_{Ag}} \cdot \frac{Cd_i}{S_{Cd}}}{\frac{Cr_i}{S_{Cr}} \cdot \frac{Ni_i}{S_{Ni}} \cdot \frac{Co_i}{S_{Co}}}.$$

В числитель формулы помещены нормированные значения типоморфного комплекса элементов, в знаменатель – нормированные значения элементов, имеющих с типоморфными отрицательную корреляционную связь.

При обобщении и интерпретации результатов геохимического опробования следует учитывать, что первичные ореолы рассеяния могут иметь зональное строение. Это особенно характерно для месторождений эндогенного генезиса. Зональность обычно выражается в том, что максимальные концентрации отдельных элементов относительно рудных тел не совпадают. Элементы, обладающие высокой миграционной способностью, дают повышенные концентрации в верхних частях минерализованных зон, образуя надрудные ореолы рассеяния, а элементы с низкой миграционной способностью концентрируются в нижних частях, создавая подрудные ореолы.

Пример зональности первичных ореолов приведен выше (см. рис. 3.17). На рисунке отчетливо видно, что Ba , As имеют повышенные концентрации в верхней части минерализованной зоны, образуя надрудный и верхнерудный ореол; Ag , Pb , Zn образуют окolorудный ореол, а Mo , Co , Cu , Bi – подрудный ореол. В пределах рудноформационных типов месторождений ряды зональности достаточно устойчивы (табл. 4.6). Они используются для установления уровня эрозийного среза оруденения и выбора направления поисковых работ.

Показатель геохимической зональности – это отношение одного нормированного элемента-индикатора к сумме нормированных содержаний всех других элементов-индикаторов. Для месторождения Канимансур показатель зональности (Π_3) имеет следующий вид:

$$\Pi_3 = \frac{Ba_i/\overline{Ba}}{As_i/\overline{As} + Ag_i/\overline{Ag} + Pb_i/\overline{Pb} + Zn_i/\overline{Zn} + Mo_i/\overline{Mo} + Bi_i/\overline{Bi}}.$$

В формуле нормирование содержаний элементов произведено по среднему значению.

Таблица 4.6

Ряды осевой зональности элементов-индикаторов рудных месторождений
(Инструкция по геохимическим методам поисков..., 1983)

Тип месторождений	Ряды зональности отложения основных элементов-индикаторов (снизу-вверх)
1	2
<i>Медно-никелевые:</i> – Кольского района, – Норильского района	$Co - Ni - Cu - Zn - Pb - (Ag, Ba)$ $Co - Ni - Cu - (Ag, Mo) - Ba - b - (Ti, Sn, Zr)$
<i>Редкометалльные пегматиты</i>	$W - Nb - Na - Sn - Cs - Rb - Li - As$
<i>Вольфрамовые:</i> – скарново-шеелитовые, – грейзеновые, – кварц-гюбнеритовые, – кварц-шеелитовые	$W - Ba - Sn - (Bi, Mo) - Zn - (Pb, Ag)$ $Be - Sn - Bi - W - (Zn, Pb, Cu)$ $Bi - (Sn, Be) - Co - W - Zn$ $(W, Mo, Bi) - Be - Sn - Ag$
<i>Оловорудные:</i> – кварц-касситеритовые, – сульфидно-касситеритовые	$(As, Be, W) - B - Sn - Cu - (Zn, Ag, Pb)$ $(W, Mo, As, Co) - (Zn, Cu) - (Zn, Ag, Pb)$
<i>Медноколчеданные</i>	$Mo - Co - As_2 - Cu - Zn - Pb - Ag - As_1 - Ba$
<i>Меднопорфировые</i>	$(B, W, Co, Sn) - (Mo, Cu) - Bi - Au - (Zn, Pb, Ag) - Sb - As - Ba - I$
<i>Медные (жильные)</i>	$Ni - Co - Bi - Cu - (Sn, Ag) - Zn - Pb - Ag - Ba - I$
<i>Полиметаллические:</i> – скарновые, – жильные	$Sr - (W, Mo) - Co - Bi - Cu - Zn - Pb - Ag - (Sb,) - Ba - I$ $W - As_1 - Sn - Co - Bi - Cu - Zn - Pb - Ag - As_2 - Ba - I$
<i>Золоторудные:</i> – высокотемпературные, – среднетемпературные, – низкотемпературные	$Be, W, Au, As_1, Ni, Co) - Cu - Zn - (Pb, Ag, As_2, Sb)$ $(Co, W,) - Bi - (Sn, Mo) - Cu - Au - Zn - Pb - (Ag, As, Pb)$ $(W, Bi,) - Mo - (Cu, Zn) - Pb - Au - Ag - (As, Sb) - Ba - Hg$

1	2
Урановые (настуран-сульфидной формации)	$Mo^* - Cu - Zn - Pb - Ag$
Свинцово-цинковые (стратиформные)	$Be - Ni - Co - Zn - Pb - Ag - Cu - As - Ba$
Ртутные	$(Bi, Mo) - Cu - Zn - Pb - Ag - (Hg, As, Sb)$
Сурьмяно-ртутные	$(Ni, Co) - Mo - Cu - Zn - Pb - Sn - Ag - (Sb, As) - Hg$

Примечания: 1. Взаимоотношения элементов, заключенных в скобки, в ряду зональности не установлены. 2. На месторождениях, отмеченных знаком *, изучен ограниченный круг элементов-индикаторов.

Коэффициент зональности (K_3) – это отношение сумм содержаний групп элементов-индикаторов, занимающих полярное положение в ряду геохимической зональности. Коэффициент зональности для месторождения Канмансур:

$$K_3 = \frac{Ba_i/\overline{Ba} + As_i/\overline{As} + Ag_i/\overline{Ag}}{Mo_i/\overline{Mo} + Co_i/\overline{Co} + Cu_i/\overline{Cu} + Bi_i/\overline{Bi}}.$$

Выявленные в результате статистических и графических обобщений моно- и полиэлементные аномалии должны получить геологическую, генетическую и геохимическую интерпретацию. Следует установить ряды зональности элементов-индикаторов, надрудные, окolorудные и подрудные ореолы рассеяния. На основе этих данных необходимо оценить уровень эрозионного среза оруденения и возможность обнаружения рудных тел на глубине. Все аномалии должны быть ранжированы по степени перспективности и надежности. Наиболее высокой оценки заслуживают площадные полиэлементные аномалии, имеющие высокую интенсивность и контрастность.

Геолого-экономическая оценка перспективных аномалий ведется на основе подсчета прогнозные ресурсов. На перспективных аномалиях стущается сеть опробования, организуется вскрытие горными выработками и скважинами.

*Литохимический метод поисков
по вторичным ореолам рассеяния*

Сущность метода заключается в выявлении и оценке ореолов повышенных концентраций элементов-индикаторов и их спутников в элювиальных и элювиально-делювиальных отложениях путем их систематического опробования.

Метод эффективен лишь при мощности рыхлых покровных отложений не более 10 м. Перед постановкой работ следует произвести зонирование территории по ландшафтно-геохимическим, геологическим, почвенным и другим условиям, т.к. эти условия определяют особенности строения геохимических полей и должны учитываться при интерпретации результатов опробования.

Сеть опробования определяется масштабом исследования (табл.4.7). При средне- и крупномасштабных поисках маршруты прокладываются с учетом характера рельефа: преимущественно субпараллельно топогоризонталям. При детальных исследованиях масштаба 1:10 000 и крупнее отбор проб производится по профилям, которые ориентируются вкрест простираения основных геологических структур. Сеть отбора проб, как правило, неравномерная: расстояние между маршрутами и профилями в 5–10 раз больше, чем расстояние между пробами.

Таблица 4.7

Плотность сети опробования вторичных ореолов рассеяния
(Инструкция по геохимическим методам поисков..., 1983)

Масштаб поисков	Расстояние между маршрутами или профилями, м	Расстояние между точками пробоотбора, м	Количество проб на 1 км ²
1 : 200 000	2 000	200	2–5
1 : 100 000	1 000	100	10–20
1 : 50 000	500	50	40
1 : 25 000	250	40–50	80–100
1 : 10 000	100	20–25	400–500
1 : 5 000	50	10–20	1 000–2 000
1 : 2 000	25	10	4 000

Отбор проб производится из представительного горизонта рыхлых отложений, который для региона предварительно должен быть установлен опытно-методическими работами. Представительный горизонт – это горизонт, в котором сосредоточены наиболее высокие концентрации элементов-индикаторов. Его положение зависит от климатических особенностей изучаемой площади. В условиях аридного климата происходит засоление верхних горизонтов рыхлых отложений. Напротив, при гумидном климате идет интенсивная промывка верхних горизонтов отложений. По этой причине повышенные концентрации элементов-индикаторов сосредоточиваются на глубине. В регионах, имеющих аридный климат (пустыни, полупустыни), глубина отбора проб принимается равной 0,1–0,2 м; в лесных и горно-таежных – 0,2–1,5 м; на территориях, имеющих гумидный климат (тропики, субтропики), – 3–5 м и более.

С глубины до 25–40 см отбор проб ведется с помощью лопаты или кайла-мотыги. При большей глубине залегания представительного горизонта для отбора проб проходятся копуши, мелкие скважины ручного или шнекового бурения. В пробу отбирается мелкая песчано-глинистая фракция элювиально-делювиальных отложений, находящихся ниже почвенно-растительного слоя. Масса проб около 200 г. Проба вместе с этикеткой помещается в заранее пронумерованные мешочки с завязками. Отбор проб сопровождается полевой документацией, включающей топографическую привязку, фиксацию пунктов отбора на карте и в полевом журнале. В журнале указываются исполнитель, дата, номер профиля (маршрута), номера проб. Параллельно в журнале ведется абрис маршрута, в котором отражаются результаты геологических и геоморфологических наблюдений, приводятся сведения о характере рельефа, растительности, типе отложений, указываются местные ориентиры, старые горные выработки, рудные свалы и т.п. Пройденные маршруты в тот же день должны быть вынесены на сводную карту геохимического опробования

Обработка проб производится для получения материала, пригодного для анализов. Стандартная обработки проб (рис. 4.16) предусматривает их сушку, просеивание, определение магнитной восприимчивости, механическое истирание и сокращение. Масса проб, направляемых на анализ, должна составлять около 25 г. Для проб, в которых будет определяться Au , – 100 г. После обработки каждой пробы все механизмы и оборудование должны тщательно очищаться.

При региональных геологосъемочных работах обязательному определению в пробах спектральным методом (методом просыпки) подлежат следующие химические элементы (в порядке возрастания их атомных номеров): Be , B , P , Ti , V , Cr , Mn , Co , Ni , Cu , Zn , As , Sr , Zr , Nb , Mo , Ag , Sn , Sb , Ba , La , W , Pb , Bi . Кроме того, особо должна быть рассмотрена целесообразность применения специальных методик анализа на F , Au , Hg , U , Li , Rb , Cs , K , Na и другие элементы.

Перечень элементов на стадии поисковых работ следует уточнить с учетом имеющихся геологических данных и минерагенических особенностей территории. В пробах, показавших аномально высокие содержания элементов-индикаторов, должны быть определены содержания редких и рассеянных элементов, являющихся их спутниками.

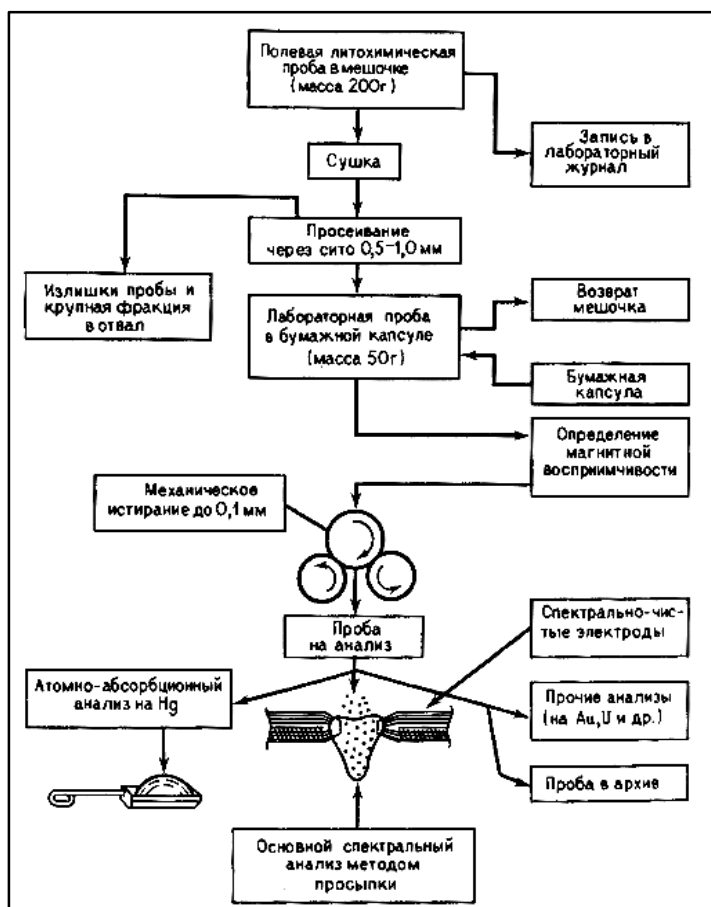


Рис. 4.16. Схема обработки и анализа литохимических проб
(Инструкция по геохимическим методам поисков..., 1983)

Полученная информация обобщается статистическими и графическими методами, аналогично обработке данных геохимических поисков по первичным ореолам рассеяния. Для определения фоновых содержаний составляются карты-разноски по каждому элементу, на которых указываются пункты опробования, содержания элементов и их изоконцентраты. Эти карты также позволяют определить степень информативности элемента.

Моноэлементные карты составляются на геологической основе. Аномалии на них показываются штриховкой или цветовой раскраской. Широко применяется построение полиэлементных карт (аддитивных, мультипликативных и т.п.). Преобладающими графическими документами являются карты и планы в изолиниях, а также графики геохимических характеристик по отдельным профилям.

Данные, полученные в результате графических и статистических обобщений, интерпретируются с учетом геологических, геофизических, аэрокосмических, минерагенических, генетических и других особенностей изучаемой территории. Однако следует учитывать и особенности формирования вторичных ореолов: ландшафтные, климатические условия, мощность рыхлых отложений, смещение ореолов по склону (рис. 4.17), возможность образования ложных аномалий и т.п.

Все аномалии должны быть ранжированы по степени перспективности и надежности. Наиболее высокую оценку должны получить площадные полиэлементные аномалии, имеющие высокую интенсивность и контрастность. Геолого-экономическая оценка перспективных аномалий производится на основе подсчета прогнозные ресурсы.

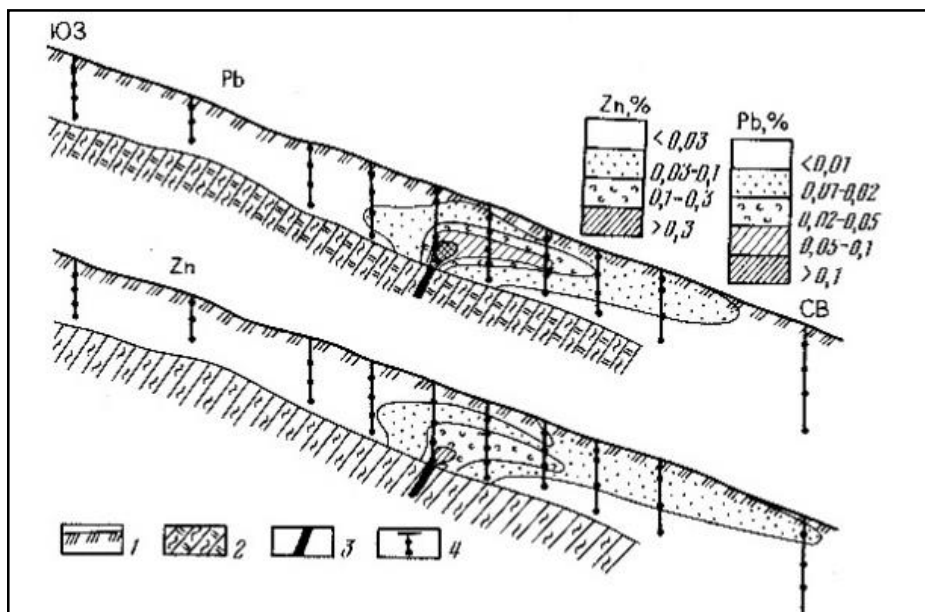


Рис. 4.17. Смещение ореолов свинца и цинка на горном склоне (Справочник..., 1990): 1 – элювий-делювий; 2 – сланцы; 3 – рудная жила; 4 – точки пробоотбора

На перспективных аномалиях сеть опробования сгущается, организуется вскрытие горными выработками и скважинами с последующей их детальной документацией и опробованием.

*Литохимический метод поисков по потокам рассеяния
(метод донных осадков)*

Сущность метода заключается в выявлении и оценке ореолов повышенных концентраций элементов-индикаторов оруденения и их спутников в пролювиально-аллювиальных отложениях путем их систематического опробования. Потоки рассеяния временных и верховий постоянных водотоков могут рассматриваться как внешние зоны вторичных ореолов. Поэтому данный метод часто объединяют с выше охарактеризованным и называют «Литохимический метод по вторичным ореолам и потокам рассеяния».

Метод применяется на стадии региональных работ в комплексе с геологическими и геофизическими съемками; он позволяет быстро получить геохимическую и минерагеническую характеристики больших территорий и выделить перспективные для более детальных исследований площади.

Условием применения метода донных осадков является равномерное развитие временных и постоянных водотоков, обеспечивающих возможность создания равномерной сети опробования. Сеть опробования определяется масштабом исследования (табл. 4.8)

Таблица 4.8

Плотность опробования литохимических потоков рассеяния
(Инструкция по геохимическим методам поисков..., 1983)

Масштаб	Среднее расстояние между опробуемыми руслами, км	Расстояние между точками пробоотбора по руслу, км	Число проб на 1 км ²
1 : 200 000	2	0,50	1
1 : 100 000	1	0,25	4
1 : 500 00	0,5–0,7	0,05–0,25	8

Маршруты начинаются и заканчиваются в 100 м выше и ниже устьев рек с отбором в конечных точках двух проб на расстоянии 20–30 м (рис. 4.18).

Отбор проб сопровождается полевой документацией с фиксацией пунктов отбора на карте и описанием в полевом журнале (аналогично документации при опробовании вторичных ореолов). Обработка проб и их анализ ведутся по методике, принятой при поисках по вторичным ореолам рассеяния.

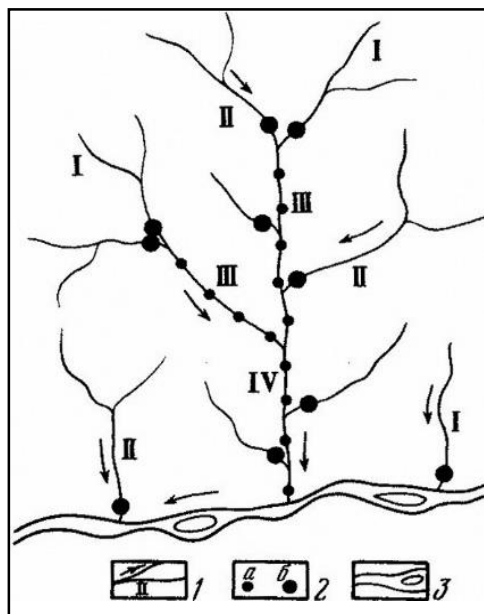


Рис. 4.18. Схема отбора проб при литохимической съемке по потокам рассеяния (Справочник..., 1990): 1 – реки и их порядки; 2 – пункты отбора проб (а – рядовых, б – двойных); 3 – магистральная река

В пробу отбирается илисто-глинистая или песчанистая фракция аллювиальных (пролювиальных) отложений с поверхности либо с глубины до 60 см и более в сухой части русла временного или постоянного водотока, либо с его дна (аналогично опробованию вторичных ореолов). Широкие заболоченные долины опробуются двумя параллельными маршрутами по бортам с опробованием боковых притоков и конусов выноса.

Информация обобщается статистическими и графическими методами. Результаты исследования представляются в виде карт на геологической основе, на которых поток рассеяния каждого элемента (или комплексного показателя) изображается в виде линий, параллельных опробованному руслу. Длина линии соответствует протяженности потока рассеяния. Содержания элементов (количественные характеристики комплексных показателей) обозначаются линиями различной толщины (аналогично построению ленточных шлиховых карт).

По отдельным водотокам могут быть построены графики изменения геохимических показателей. Возможности построения карт в изолиниях ограничены, т.к. аллювиально-пролювиальные отложения не имеют сплошного площадного развития.

При поисках литохимическим методом по вторичным ореолам и потокам рассеяния часто изучаются практически те же отложения, что и шлиховым методом. Поэтому целесообразно провести сравнительный анализ методов, с тем чтобы четко представлять их достоинства и недостатки. Результаты такого анализа приведены в табл. 4.9.

Таблица 4.9

**Сравнительная характеристика шлихового
и литохимического методов поисков по вторичным ореолам
и потокам рассеяния**

Шлиховой метод		Литохимический метод	
Достоинства	Недостатки	Достоинства	Недостатки
1. Высокая надежность исходной пробы. 2. Высокая чувствительность. 3. Устанавливаются минеральные формы нахождения (возможность установления генезиса оруденения). 4. Устанавливаются более дальние по сравнению с литохимическими ореолы рассеяния	1. Компоненты глинистой тонкозернистой и легкой фракций не улавливаются. 2. Физически и механически неустойчивые минералы шлихами не улавливаются. 3. Качество промывки зависит от квалификации рабочего. 4. Высокая стоимость	1. Малая масса проб, более густая сеть наблюдений. 2. Определяется большое количество элементов. 3. Определяются элементы, находящиеся в составе глинистой и тонкозернистой фракций в устойчивой и неустойчивой формах. 4. Невысокая стоимость	1. Не выявляются петрогенные элементы (имеющие высокие кларки). 2. Сложность интерпретации при отсутствии информации о минеральных формах нахождениях. 3. Возможно образования ложных аномалий, обусловленных приповерхностными геохимическими барьерами

Гидрохимический метод поисков

Гидрохимический метод поисков заключается в использовании химического состава природных поверхностных и подземных вод для обнаружения месторождений полезных ископаемых. В основе этого метода лежит способность воды к растворению пород, ее участие в химических превращениях минералов и свойства воды как подвижной среды. Связь между химическим составом воды и наличием вблизи водоисточника залежей полезных ископаемых не вызывает сомнений, она является одной из причин возникновения гидрохимических аномалий, имеющих поисковое значение.

Условия применения. Наиболее эффективно применение гидрогеохимического метода для поисков месторождений полезных ископаемых, находящихся:

1) на участках, перекрытых мощным чехлом рыхлых отложений, когда не эффективен даже биогеохимический метод поисков;

2) в резко расчлененных высокогорных районах, где из-за специфических условий дренажа подземных вод метод становится не только более глубинным, но и возможна более точная интерпретация гидрогеохимических аномалий;

3) в платформенных условиях при вероятном залегании тел полезных ископаемых ниже местных базисов эрозии.

В зависимости от решаемых задач гидрохимические исследования можно разделить: 1) на региональные (1 : 200 000–1 : 100 000); 2) собственно поисковые (1 : 50 000–1 : 25 000); 3) детальные (1 : 10 000 и крупнее).

Региональные исследования. Позволяют выяснить общие геохимические и гидрогеохимические особенности региона, выделить наиболее перспективные территории. Поэтому рассматриваемый этап имеет особое значение при гидрогеохимических исследованиях. В пробах, отобранных на этом этапе, должна определяться концентрация максимального числа компонентов-индикаторов полезных ископаемых, вероятных для изучаемого региона.

Работы поисковой стадии проводятся на перспективных площадях для выявления гидрогеохимических ореолов и выделения участков для постановки детальных работ.

Детальные исследования ведутся с целью оконтуривания месторождений, а в некоторых случаях даже отдельных тел полезных ископаемых, в пределах перспективных участков, выявленных предшествующими исследованиями.

Метод основан на выявлении в природных водах ореолов повышенных концентраций элементов-индикаторов, хорошо мигрирующих в водной среде: *Cu, Zn, Pb, Ni, Co, Mo, As, Sb, U, Ra*; щелочных элементов (*Li, Na, K, Rb, Cs*); щелочноземельных элементов (*Mg, Ca, Sr, Ba*); *J, Br*. Наиболее благоприятными объектами для поисков гидрохимическим методом являются месторождения минеральных солей, минеральных вод, промышленных йодо-бромных вод, месторождений боратов. Из рудных наилучшие результаты получены при поисках сульфидных колчеданно-полиметаллических и медно-колчеданных месторождений (рис. 4.19).

Гидрохимический метод весьма эффективен при поисках урановых гидрогенных (инфильтрационных) месторождений в зонах пластового окисления в аридных климатических и палеоклиматических областях. Рудные тела этих месторождений, получившие название “роллов”, формируются из природных вод на восстановительных барьерах.

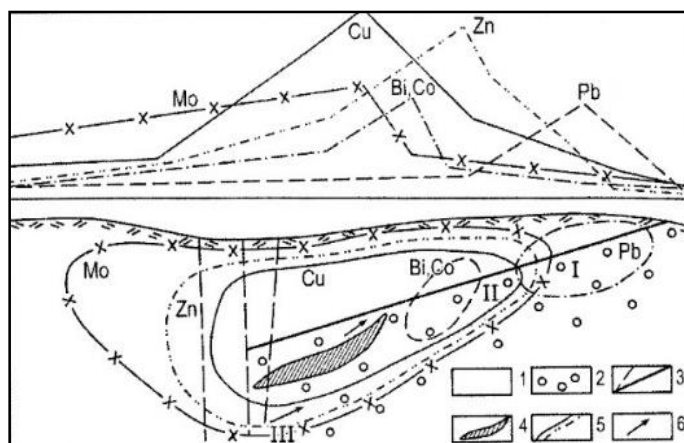


Рис. 4.19. Зональность гидрохимических ореолов над скрытой медноколчеданной залежью (разрез) (по С. В. Григоряну и др., 1987):
1 – терригенные породы; 2 – конгломераты; 3 – разрывные нарушения;
4 – колчеданная залежь; 5 – изолинии повышенных концентраций элементов в грунтовых водах; 6 – пути движения подземных вод.

I – группа надрудных ореолов $Zn+Pb+Ba$;

II – группа околорудных ореолов $Ba+Cu+Zn+Mo+Pb$;

III – группа подрудных ореолов $Co+Bi+Cu+Zn+Pb+Mo$

Плотность сети опробования зависит от масштаба исследования и размещения водных источников (табл. 4.10).

Таблица 4.10

Плотность сети опробования при гидрохимических поисках
(Инструкция по геохимическим методам поисков..., 1983)

Масштаб	Число проб в зависимости от сложности геологического строения и ландшафтно-геохимических условий		
	простые	средние	сложные
1 : 200 000	0,1	0,15	0,2–0,4
1 : 50 000	1,1	1,7	1,5–2,0
1 : 25 000	2,3	3,4	4, 0–5,0
1 : 10 000	Опробуются все водопункты при расстоянии между ними не более 100 м. Если это условие выполнить невозможно, поиски в данном масштабе проводиться не могут		

Пробы отбираются из родников, колодцев, малых рек, скважин, горных выработок. Опробование сопровождается полевой документацией, включающей привязку и фиксацию водного источника на топографической карте, а

также описание в полевой книжке объекта изучения. Отмечаются: тип источника, время отбора, физические свойства воды (температура, цвет, запах, наличие спонтанных газов), дебит, минеральные новообразования (травертины, охры, грязи и т.п.). Обязательно указываются геологическая и геоморфологическая позиции источника.

Пробы воды помещаются в тщательно промытые и дважды сполоснутые стеклянные или пластмассовые бутылки. Объем проб зависит от величины ожидаемого сухого остатка и видов анализов; обычно составляет 0,4–1,0 л.

В полевых условиях для каждого водопункта определяются: pH , SO_4 , сумма металлов, HCO_3 , $Fe_{общ}$, O_2 , Cl , H_2S и CO_2 . Пробы, в которых будут определяться Cu , Zn , Pb , Ni , Co , U , Ra , после определения pH непосредственно в поле подкисляют соляной (1 : 1) кислотой из расчета 3 мл на 1 л воды. Пробы на определение Ag и Hg , а также для получения сухого остатка аналогичным образом подкисляют серной (1 : 1) кислотой.

В лабораторных условиях проводится общий химический анализ воды (CaO , MgO , Na_2O , K_2O ; HCO_3 , SO_4 , NO_3 , NO), определяется общая минерализация; концентраты проб (сухой остаток) анализируются приближенно-количественным спектральным методом. Для определения содержаний компонентов в воде применяются разнообразные методы анализа: соосаждения в присутствии различных реагентов, метод сорбции активированным углем, ионно-обменными смолами и др.

Обобщение информации ведется статистическими и графическими методами, аналогично обработке данных геохимических поисков по первичным ореолам рассеяния. Преобладающими графическими документами являются карты и планы в изолиниях, а также графики геохимических характеристик по отдельным профилям.

Для определения фоновых содержаний составляются карты-разноски по каждому элементу, на которых показываются пункты опробования, содержания элементов и их изоконцентраты. Эти карты позволяют также определить степень информативности элемента.

Моноэлементные карты составляются на геологической (гидрогеологической) основе. Аномалии на них показываются штриховкой или цветовой раскраской. Строятся карты общей минерализации, макрокомпонентов и других характеристик вод.

Широко применяется построение полиэлементных карт (аддитивных, мультипликативных, отношений и т.п.).

Интерпретация результатов гидрохимических поисков характеризуется повышенной сложностью, что обусловлено необходимостью учета большого

количества факторов, таких как ландшафтно-геохимические условия, гидро-геологические особенности территории (водоносные и водоупорные свиты, горизонты, комплексы), литогеохимические особенности разреза, минерализация и химический состав вод, миграционная способность элементов, сезонная интенсивность водной миграции, концентрации компонентов и др.

При оконтуривании аномалий необходимо учитывать направление стока подземных и поверхностных вод, зональность распределения элементов-индикаторов, их ассоциации, зависимость от степени окисления погребенных рудных тел и др.

Все аномалии должны быть ранжированы по степени перспективности и надежности. Наиболее высоко оцениваются площадные полиэлементные аномалии, имеющие высокую интенсивность и контрастность.

Геолого-экономическая оценка перспективных аномалий ведется на основе подсчета прогнозных ресурсов.

На площадях развития перспективных аномалий следует произвести детальный осмотр, вскрытие горными выработками и скважинами с последующей детальной документацией и опробованием. На основе этих данных с учетом комплексного геологического анализа принимается решение о направлении и целесообразности дальнейших исследований.

Специфической разновидностью гидрохимического метода поисков является так называемая *снеговая съемка*, которая применяется при поисках месторождений нефти и газа, а также при экологических исследованиях.

Положительный опыт применения снеговой съемки известен при поисках месторождений углеводородов в северных территориях РФ, в частности, на полуострове Ямал. Именно на этих площадях в течение продолжительного времени (100 и более дней) лежит устойчивый снежный покров. Отбор проб снега производят в конце зимнего периода с помощью специальных буров по профилям или по квадратной сети с шагом 250–2 000 м в зависимости от масштаба исследований. Глубина отбора проб на 0,3 м выше поверхности земли. Эта глубина выбрана по двум причинам: 1) для исключения попадания в пробы загрязняющего материала, образующегося в начале образования снежного покрова; 2) опытно-методическими работами доказано, что контрастность геохимических аномалий с удалением от поверхности земли резко снижается. Объем проб снега выбирается таким, чтобы обеспечить получение необходимого для проведения анализов количества талой воды. В пробах определяются содержания углеводородов. Однако, как показали опытно-методические работы, по сравнению с углеводородами лучше аккумулируются и сохраняются в снеговом покрове такие элементы нефтегазопродуктивных горизонтов, как

Al, Co, Cu, Se, Cd, I, Hg, Pb, U. По аномальным значениям содержаний элементов-индикаторов оконтуриваются площади, перспективные на выявление месторождений, которые в дальнейшем подвергаются заверке бурением.

Снеговая съемка достаточно эффективна и при экологических исследованиях, в частности при оценке техногенных загрязнений окружающей среды. Отбор проб может производиться либо на полную мощность снегового покрова, либо поинтервально. Поинтервальное опробование дает возможность выявить временные тенденции загрязнения окружающей среды. Результаты исследования химического состава проб талой воды подвергаются статистическим и графическим обобщениям, что позволяет выявить основные источники загрязнения окружающей среды, включая тип загрязнения, интенсивность, а также с известной степенью достоверности и их время.

Атмохимический метод поисков

Сущность атмохимического метода поисков заключается в изучении распределения газов в атмосфере, почве и подпочвенных рыхлых отложениях с целью выявления газовых ореолов скрытых на глубине залежей полезных ископаемых. Метод наиболее эффективен и может иметь преимущество по сравнению с другими геохимическими методами при поисках погребенных месторождений, перекрытых толщами молодых отложений мощностью до нескольких сотен метров. Атмохимический метод следует применять только на площадях, для которых его эффективность доказана опытно-методическими работами.

Широкое распространение метод получил при поисках радиоактивных руд (радоновая, тороновая съемки), нефтяных и газовых месторождений. Производство работ разновидностями атмохимического метода поисков регламентируется специальными инструкциями.

Практическое применение при поисках сульфидных (*Hg, Mo, Cu*) и некоторых других рудных месторождений пока получили лишь методы, основанные на изучении комплекса газов (*CO₂*, углеводороды, *H₂, He, Ar, O₂* и др.), и газортутный метод.

Для выявления нефтяных и газовых залежей широкое применение получил *газовый каротаж*, сущность которого заключается в определении газообразных и легких жидких углеводородов в буровом растворе, реже в керне. Газовый каротаж используется также для изучения газоносности угольных пластов.

Плотность сети опробования определяется масштабом исследований (табл. 4.11). При региональных работах отбор проб ведется по маршрутам, а при детальных – по профилям.

Таблица 4.11

Плотность сети опробования при атмохимическом методе поисков
(Инструкция по геохимическим методам поисков..., 1983)

Масштаб	Расстояние между маршрутами или профилями, м	Расстояние между пробами, м	Количество проб на 1 км ²
1 : 50 000	500	50–100	20–40
1 : 25 000	250	20–25	80–160
1 : 10 000	100	10–25	400–1 000
1 : 5 000	50	5–10	2 000–4 000

Опробованию подвергаются призабойные части мелких скважин, пробуренных самоходными станками, ручными мотобурами или путем забивки в грунт зондов. Глубина отбора проб устанавливается опытно-методическими работами и обычно составляет 1,5–3,0 м. Отбор проб производится с помощью специального газоотборника (рис. 4.20) обязательно ниже зоны интенсивного обмена с атмосферой.

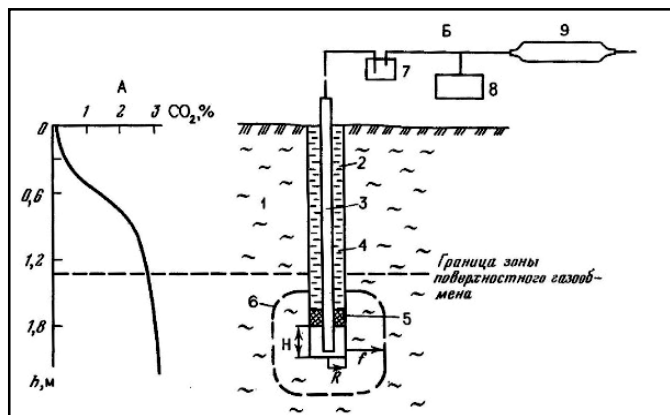


Рис. 4.20. Схема опробования почвенного воздуха (Справочник ..., 1990):

А – распределение газовых компонентов; Б – схема опробования:

- 1 – горные породы; 2 – ствол скважины; 3 – пробоотборник; 4 – глинистый раствор; 5 – резиновый уплотнитель; 6 – контур зоны извлечения газа;
- 7 – фильтр-осушитель; 8 – полевой газоанализатор; 9 – газовая ампула

Перед газоотбором из выработки откачивается воздух, поступивший из атмосферы. Отбор проб производится в стеклянные баллончики цилиндрической формы емкостью 0,25 или 0,5 л с двумя отрезками стеклянных трубочек диаметром 5 мм, впаянными в их основания. Заполняют баллончики путем выдувания потоком почвенного газа, откачиваемого из скважины. После этого баллончики закупориваются стеклянными пробками.

Полевая документация заключается в фиксации в полевом журнале следующих данных: название участка, сеть опробования, дата, время начала работы, номера профилей, их азимут, топографическая привязка, погода, температура почвы, концентрация газов, замеры фона прибора, глубина зонда, характер рыхлых отложений, геоморфологические данные и др. Пункты отбора проб должны быть отражены на карте фактического материала.

Содержания CO_2 , SO_2 и суммы углеводородов определяются непосредственно на точках наблюдения с помощью переносных газоанализаторов.

Измерение концентрации паров ртути производится в шпурах, пробитых ломом на глубину 0,3–0,6 м, или в мелких скважинах глубиной 1–3 м с помощью ртутного атомно-абсорбционного газоанализатора. Содержания других компонентов определяются в стационарных лабораториях. Количество контрольных измерений должно быть не менее 10 %. Информация, как и при проведении других геохимических методов поисков, обобщается статистическими и графическими методами.

Особенность атмохимических аномалий состоит в том, что они фиксируют зоны повышенной пористости и трещиноватости, которые могут соответствовать зонам разрывных нарушений (рис. 4.21). Все установленные при обобщении информации аномалии должны быть осмотрены на местности с проведением повторных наблюдений методом, которым они были выявлены, но по более густой сети. Кроме того, атмохимические аномалии должны быть проверены литохимическим опробованием вторичных ореолов рассеяния. Решение о перспективности атмохимических аномалий принимается на основе данных глубинного литохимического опробования скважин, пробуренных на 3–5 профилях.

Все аномалии следует ранжировать по степени перспективности и надежности. Наиболее высокую оценку должны получить площадные полиэлементные аномалии, имеющие высокую интенсивность и контрастность. Геолого-экономическая оценка перспективных аномалий дается на основе подсчета прогнозных ресурсов.

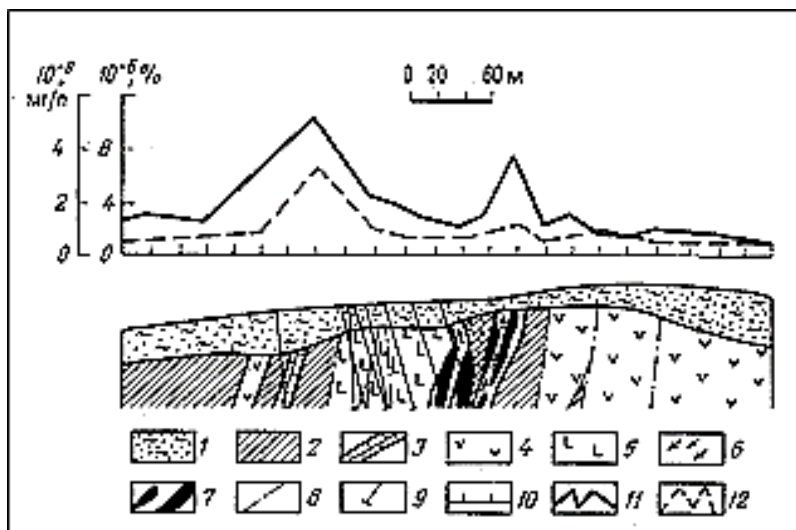


Рис. 4.21. График изменения концентрации ртути в почвенном воздухе над месторождением киновари (по В. З. Фурсову):
 1 – суглинки, 2 – сланцы, 3 – известняки, 4 – эффузивы, 5 – серпентиниты, 6 – листвениты, 7 – рудные тела, 8 – разрывные нарушения; 9 – скважины, 10 – точки измерения, 11 – график концентрации паров ртути, 12 – график концентрации паров ртути в твердой фазе

Биохимический метод поисков

Сущность биохимического метода поисков заключается в выявлении геохимических аномалий, образующихся в биосфере. Практическое значение имеет изучение элементов-индикаторов оруденения только в растениях благодаря их стабильному положению на местности.

Биохимический метод целесообразно применять лишь в ландшафтно-геохимических условиях, где он имеет преимущества перед литохимическими поисками, что должно быть доказано опытно-методическими работами и экономическими расчетами.

Применение метода целесообразно на площадях:

- развития полностью выщелоченных зон окисления и кор выветривания;
- развития неглубоко залегающих вторичных ореолов, перекрытых дальнепереносными отложениями небольшой (2–10 м) мощности в условиях гумидного климата;
- развития вторичных ореолов, перекрытых дальнепереносными отложениями умеренной мощности (до 30 м, иногда до 80 м) в условиях аридного климата при наличии растений с глубокопроникающими корневыми системами;

– распространения болотных отложений при неглубоком залегании рудных тел и их вторичных ореолов (2–10 м), в том числе при наличии многолетней мерзлоты;

– развития крупноглыбовых курумов.

Биохимический метод нецелесообразно применять:

– в горных, активно денудлируемых районах;

– в районах, где месторождения залегают на большой глубине, недоступной для формирования биохимических ореолов;

– на площадях, лишенных растительного покрова;

– при поисках руд, элементы-индикаторы которых входят в состав труднорастворимых крупных кристаллов, зерен и агрегатов в формах, недоступных для усвоения корневой системой растений.

Плотность сети опробования определяется масштабом исследований (табл. 4.12).

При региональных работах отбор проб ведется по маршрутам, а при детальных – по профилям. Опробованию подвергаются безбарьерные части широко распространенных на площади исследования многолетних растений: кора, ветви, хвоя сосны, лиственницы, кедра, пихты, ели, листья березы, ивы, осины и др. (табл. 4.13). При отсутствии в точке наблюдения выбранного для опробования вида растения пробы могут отбираться из этого же вида на небольшом удалении (но не более 1/3 шага опробования).

Таблица 4.12

Плотность сети опробования при биохимическом методе поисков
(Инструкция по геохимическим методам поисков..., 1983)

Масштаб	Расстояние между маршрутами или профилями, м	Расстояние между пробами, м	Количество проб на 1 км ²
1 : 50 000	500	20–100	10 000–50 000
1 : 25 000	250	10–50	2 500–25 000
1 : 10 000	100	10–20	1 000–5 000
1 : 5 000	50	5–20	500–1 000
1 : 2 000	20	2–20	80–400
1 : 1 000	10	2–10	20–100

Таблица 4.13

Характеристика растений, рекомендуемых для опробования
при биохимических поисках (по А. Л. Ковалевскому, 1984)

Вид растения	Части растения	Наиболее информативные микроэлементы
<i>Глубина корневой системы 5–20 м</i>		
Сосна обыкновенная	Шишки	<i>Li, Rb, Cs, Ag, Au, Be, Ra, Zn, Hg, Cr, Mo, W, Ni</i>
	Внешние слои корки стволов	<i>Li, Au, Be, Sr, Ba, Ra, Zn, Hg, Sn, Pb, As, Sb, Bi, W, Mn</i>
Полынь	Наземные части	<i>Rb, Be, Ra, Zn, As, Mo</i>
<i>Глубина корневой системы 1–5 м</i>		
Береза бородавчатая и плосколистная	Корка стволов	<i>Rb, Cu, Ag, Au, Be, Sr, Ba, Ra, Zn, Hg, B, Tl, Pb, As, Sb, Bi, W, F</i>
Лиственница даурская и сибирская	Внешние слои корки стволов	<i>Cu, Au, Be, Sr, Ba, Ra, Zn, Hg, Tl, Pb, As, Bi, W, Mn</i>
Кедр сибирский	То же	<i>Rb, Ag, Au, Sr, Ra, Zn, Hg, Pb, Bi, Mo, W</i>
Ель сибирская	Корка стволов	<i>Rb, Au, Sr, Ba, Ra, Hg</i>
Пихта сибирская	То же	<i>Rb, Au, Sr, Ba, Ra, Zn</i>
Осина дрожащая	То же	<i>Rb, Cs, Au, Sr, Ba, Ra, Zn, Pb</i>

При опробовании необходимо следить за тем, чтобы в пробу, насколько это возможно, отбирался незагрязненный однотипный (вид и органы растений, их возраст) материал. В пробу можно объединять однотипный материал нескольких растений одного вида.

Опробование должно проводиться оперативно в течение двух-трех недель. Если это невозможно, то площадь должна быть разделена на участки, опробованные в течение двух-трех недель. Нежелательно проводить опробование во время интенсивных дождей и в течение двух-трех дней после их окончания. Наиболее благоприятным временем опробования растений являются осенний и осенне-зимний периоды после окончания вегетации.

Масса отбираемых проб обычно составляет 100–200 г сырого вещества, что достаточно для проведения спектрального анализа получаемой из них золы. Зольность сухого вещества растений колеблется от 0,2 до 35 %, составляя в среднем 2,5–3,0 %. Для отбора проб коры деревьев используют легкие топорiki, для отбора проб ветвей деревьев и кустарников – садовые ножницы или ножи. Листья и травянистые растения обрывают руками. Пробы упаковывают в матерчатые мешочки или в бумажные пакеты.

Документация ведется в полевой книжке единого образца. Указываются: дата, привязка пункта отбора пробы, вид и часть растения, возраст (диаметр)

древесных растений, фенофаза (сокодвижение, набухание почек, облиствение, цветение, созревание семян и плодов, осенняя раскраска листьев, листопад, после листопада); абрис профиля или маршрута с указанием положения характерных точек рельефа, смены растительных ассоциаций и почв, время дождей и др. Список видов опробуемых растений и их аббревиатуры должны быть приведены на первой странице полевой книжки.

Контрольное опробование проводится в объеме не менее 5 % общего числа проб. Контрольное опробование I этапа должно проводиться на площадях аномалий, установленных другими методами или представляющих интерес по геологическим, ботаническим и другим данным. Контрольное опробование II этапа производится после получения результатов анализов на площадях выявленных площадных аномалий. При этом условия пробоотбора должны быть однотипны.

Обработка проб биомассы заключается в их озолении, которое ведется при свободном доступе воздуха и свободном горении пробы в начале операции. Озоление производится в полевых условиях в печах, оборудованных тягой. Измельченные до 3–10 мм пробы помещают в жаропрочные тигли из стекла, фарфора или керамики и, периодически помешивая, выдерживают до 4–8 ч при температуре 400–600 °С. Показателем полного озоления являются равномерный пепельно-серый, белый, коричневый или иной цвет золы и отсутствие черных углей.

Озоленные пробы помещаются в бумажные капсулы и вместе с сопроводительной ведомостью направляются на приближенно-количественный спектральный анализ.

Перечень определяемых компонентов в основном тот же, что и для литохимических проб. По мере детализации исследований этот перечень уточняется.

Информация обобщается теми же методами, что и при литохимических поисках: статистическими и графическими.

Первоначальной операцией обработки данных является определение фоновых содержаний элементов-индикаторов. Оно должно быть осуществлено для стандартных (сопоставимых) условий с учетом видов и частей растений, сроков опробования, геохимических ландшафтов и т.п.

Карты и профили (рис. 4.22, 4.23) составляются на геологической основе.

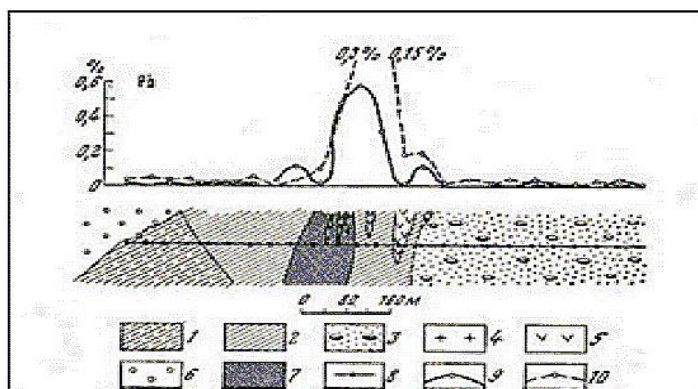


Рис. 4.22. Биогеохимический профиль через полиметаллическое месторождение (по Л. И. Грабовской): 1 — песчано-глинистые сланцы и роговики; 2 — осветленные песчано-глинистые сланцы; 3 — песчаники и конгломераты; 4 — гранит-порфиры; 5 — лампрофиры; 6 — аллювий; 7 — оруденелая тектоническая зона; 8 — пункты опробования березы; 9 — содержание свинца в листьях; 10 — содержание свинца в ветвях

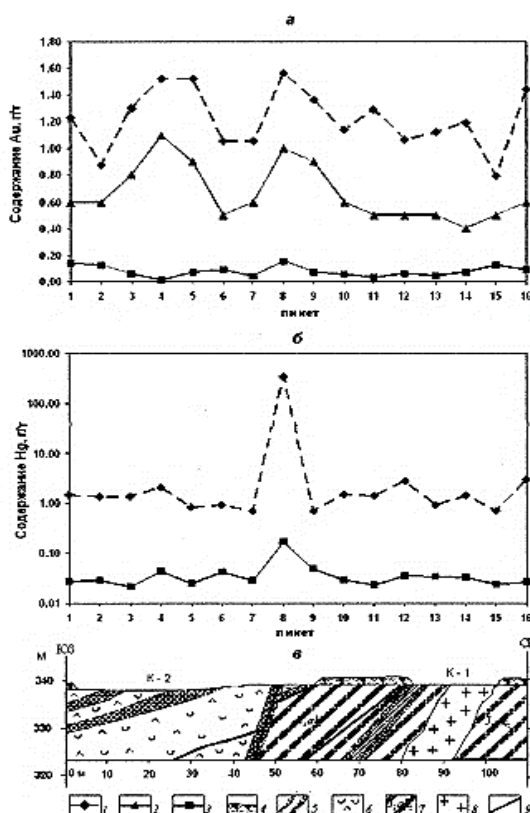


Рис. 4.23. Графики распределения содержаний Au (а) и Hg (б) в растениях, почве, коренных породах по геологическому профилю (в) рудопоявления Покровка-IV (Верхнее Приамурье) (по Д. В. Юсупову, 2009): 1 — рододендрон даурский (ветви с листьями); 2 — коренные породы; 3 — почвенный горизонт; 4 — почвенно-растительный слой и элювий; 5 — зоны с Au-Ag оруденением; 6 — туфы дацитов; 7 — алевролиты, аргиллиты; 8 — гранит-порфиры; 9 — разрывные нарушения

Основными критериями отнесения аномалий к перспективным являются их геологическое положение и количественные параметры: интенсивность, протяженность, размер, продуктивность и прогнозные ресурсы основных рудных элементов.

Все перспективные аномалии должны быть осмотрены. На них следует провести контрольно-детализационное опробование по 1–3 профилям. При подтверждении перспективности аномалии на участке ее распространения проводятся детальные геофизические исследования и вскрытие скважинами или горными выработками, которые подвергаются глубинному литохимическому опробованию.

Методы анализа геохимических проб

Круг и объем решаемых задач, многообразие и сложность объектов, количество определяемых компонентов, широкий диапазон их содержаний – все это привело к тому, что для решения геологических задач применяются практически все современные аналитические методы. По мере расширения и усложнения задач геологических исследований количество методик увеличивается. В настоящее время только в производственных аналитических лабораториях применяется более 400 методик.

Метрологические характеристики аналитических методов. Необходимым условием успешного проведения геохимических исследований является высокая степень надежности определения содержаний химических элементов. При оценке качества анализов используются следующие метрологические характеристики.

Достоверность – степень соответствия полученного содержания компонента в анализируемом веществе действительному.

Точность – качество анализа, отражающее близость его результатов к истинному значению определяемой величины.

Воспроизводимость методики анализа – рассеяние результатов анализа относительно их среднего значения. Различают внутрилабораторную и межлабораторную воспроизводимости.

Погрешность – разность между результатом определения и истинным содержанием определяемого компонента.

Правильность – качество анализа, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в его результатах.

Систематическая погрешность

– составляющая погрешности анализа, остающаяся при повторении анализа постоянной или закономерно изменяющейся и не устранимая путем

усреднения результатов многократных определений. Она вызывается факторами, действующими одинаковым образом при повторении одних и тех же определений, такими как отсев мелких фракций при отборе проб, неправильная калибровка прибора и т.п.

Случайная погрешность – это погрешность измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях. Алгебраическая сумма случайных погрешностей стремится к нулю при увеличении числа измерений.

Грубая погрешность измерения – это погрешность измерения, которая существенно превышает ожидаемую при данных условиях. Ее источником является грубое нарушение условий проведения измерения. Например, заражение пробы посторонним материалом, проведение анализа с нарушением инструкции и т.п.

Систематические расхождения – достоверное отличие результатов анализа полученных одним методом (в одной лаборатории) в ту или иную сторону от результатов анализа, выполненных другим методом (в другой лаборатории).

При массовых геохимических исследованиях анализы проб по какому-либо участку проводятся в большинстве случаев не одновременно. В этом случае характеристикой случайных погрешностей является *погрешность воспроизводимости*, которая определяется на основе расхождений результатов анализа проб при первичных и повторных определениях, сдвинутых друг от друга во времени.

Предел обнаружения (порог чувствительности) – минимальная концентрация компонента, которая может быть обнаружена данным методом с принятой доверительной вероятностью.

Диапазон измеряемых содержаний – интервал содержаний определяемого компонента, для которого нормированы допустимые погрешности анализа.

Основные методы анализа

К аналитическим методам, используемым при массовых геохимических исследованиях, предъявляются следующие требования: а) высокая производительность; б) низкая стоимость; в) высокая воспроизводимость определения (случайная погрешность должна быть меньше природной дисперсии содержания химического элемента); г) высокая чувствительность (предел обнаружения химического элемента должен быть ниже его среднего содержания в исследуемых природных объектах).

В настоящее время при анализе геохимических проб широко используются эмиссионный спектральный, атомно-абсорбционный, рентгеноспектральный, рентгенорадиометрический, нейтронно-активационный и другие методы.

Эмиссионный спектральный метод является самым распространенным при анализе геохимических проб. Он используется для определения содержаний элементов в коренных породах, рыхлых отложениях, золе растений, сухих остатках водных проб и отдельных минералах. Метод основан на изучении спектров свечения, возникающих при испарении вещества пробы в пламени электрической дуги. Спектр излучения фиксируется специальной оптической системой. Содержания химических элементов оцениваются по положению и интенсивности характеристических спектральных линий путем сравнения с эталонами.

Обычно при сжигании одной навески одновременно определяется 12–18 элементов. Этот анализ является полуколичественным, т.к. содержание обычно характеризуется некоторым интервалом значений, в котором находится определяемая величина, например 0,0n–0,n %.

Для спектрального анализа характерны невысокая точность и относительно плохая воспроизводимость. Однако его чувствительность по большинству определяемых элементов достаточно высока, что позволяет использовать этот метод при анализе геохимических проб, когда важны не столько абсолютные, сколько относительные показатели содержаний. Себестоимость спектральных анализов невысока. Спектральным анализом определяются содержания *Cu, Pb, Zn, Ni, Co, V, Be, Y, Rb, Cs, Bi, Nb, Mo, Ag* и ряда других элементов. Не применяется спектральный анализ для определения особо тугоплавких и летучих элементов: *W, Ta, Pt, Hg, As, Sb, Se, Te*, а также породообразующих элементов, содержащихся в пробах в высоких концентрациях: *Fe, Al, Ca, K, Na* и др.

Атомно-абсорбционный метод основан на измерении спектров поглощения парами монохроматического света специального источника. Вещество пробы переводится в раствор, порция которого испаряется в пламени газовой горелки. Спектр поглощения фиксируется оптико-электронной системой. Метод обеспечивает высокую чувствительность, точность и воспроизводимость, является достаточно производительным и относительно недорогим. Этим методом определяются содержания элементов первой половины таблицы Д. И. Менделеева (до атомного номера 40), легко переводимых в растворимую форму: *Li, Na, K, Ca, Mg, Rb, Cs, Sr, Ba, Ti, Cr, Mn, Fe, Cd, In, Ga, Ge, Se, Te* и др.

Рентгеноспектральный и рентгенорадиометрический методы анализа основаны на измерении спектральных характеристик рентгеновского излучения при облучении вещества рентгеновскими или гамма-лучами. Анализ проводится по навескам в твердой фазе, которые при анализе не расходуются, что позволяет по одной навеске проводить анализы многократно на разные элементы. Оба метода предназначены для определения содержаний элементов с относительно высокими атомными номерами (больше 40). Себестоимость анализа проб обоими методами при массовом производстве относительно невелика. Они широко применяются при анализе проб на *Fe, Cu, Zn, Pb, Mo, Nb, Ta* (оба метода), *Cr, Mn, Sn, W, U* и др. (рентгенорадиометрический).

Рентгено-флуоресцентный метод. В настоящее время является наиболее широко используемым методом определения главных и редких элементов в породах. Этим методом можно определить до 80 элементов при широком диапазоне концентраций – от 0,000 001 до 100 масс. %.

Эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. Относительно новый вид анализа. Метод основан на использовании индуктивно-связанной плазмы в качестве источника ионов и масс-спектрометра для их разделения и детектирования; позволяет определять элементы с атомной массой от 7 до 250, т.е. от *Li* до *U*. Обычный прибор способен определить содержание от нанограммов на литр до 10–100 мг на литр. В отличие от атомно-абсорбционной спектроскопии, определяющей одновременно только один элемент, данный метод позволяет определять все элементы одновременно, что значительно ускоряет процесс измерений.

Нейтронно-активационный метод основан на измерении спектров гамма-излучения, возбуждаемого при облучении вещества пробы нейтронами в атомном реакторе. Метод является прецизионным по точности и чувствительности, но довольно дорог.

4.1.4. Геофизические методы поисков

Геофизические методы поисков применяются для выявления и оконтуривания аномальных физических полей, связанных с полезными ископаемыми. Они особенно эффективны при плохой обнаженности и большой глубине залегания тел полезных ископаемых, физические свойства которых существенно отличаются от свойств вмещающих горных пород.

При поисках твердых полезных ископаемых геофизические методы имеют в основном вспомогательное значение, но при отсутствии прямых

поисковых признаков позволяют более целенаправленно вести поисковые работы. Используются преимущественно магнитометрические, электрометрические, радиометрические, ядерно-физические методы, в меньшей степени – гравиметрические, сейсмометрические, акустические.

Выполнение работ геофизическими методами регламентируется инструкциями по соответствующим видам исследований.

Многие геофизические методы могут быть реализованы в наземном (пешеходном, автомобильном), дистанционном (аэрокосмическом) и глубинном (в скважинах, горных выработках) вариантах.

Магнитометрические методы. Магнитометрические методы используются в воздушном, наземном и скважинном вариантах для выявления руд, обладающих высокой магнитной восприимчивостью.

Магнитометрия высокоэффективна при поисках месторождений магнетитовых руд. Интенсивные магнитные аномалии рассматриваются как прямой поисковый признак.

В благоприятных условиях магнитометрия может быть эффективна при поисках месторождений медно-никелевых, хромовых, титаномагнетитовых (коренных и россыпных), слабомагнитных железных руд. В особо благоприятных условиях магнитометрия может быть использована при поисках месторождений бокситов, а также россыпей золота и платины, в которых присутствует большое количество магнетита, являющегося минералом тяжелой фракции.

На месторождениях магнетитовых руд каротаж магнитной восприимчивости (КМВ) является важнейшим методом скважинной геофизики. С его помощью в рудах определяются содержания железа, связанного с магнетитом. Магнитометрия также широко используется при геологосъемочных работах. Во всех случаях магнитометрические методы поисков наиболее эффективны, когда вмещающие комплексы сложены слабомагнитными породами.

Электрометрические методы. Электрометрические методы успешно применяются при поисках сульфидных месторождений разнообразных генетических типов, оловянных, некоторых типов углей, графита. Большое число модификаций электрометрических методов связано с использованием: 1) широкого диапазона частот; 2) естественных и искусственных источников тока.

Наиболее широкое применение получили методы: естественного поля (ЕП), переходных процессов (ПП), вызванной поляризации (ВП), вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), а также методы каротажа: каротаж сопротивлений (КС) и самопроизвольной поляризации (ПС).

Метод ЕП основан на изучении естественного потенциала и градиента потенциала. Наилучшие результаты он дает при поисках месторождений сульфидных руд, графита, картировании пиритизированных и графитизированных пород. Применяется на стадии поисково-съёмочных и детализационных работ в масштабах 1:50 000 и крупнее. Глубинность метода до 100 м.

Метод ПП заключается в изучении неустановившегося электромагнитного поля после отключения электрического тока. На раннем этапе развития метод переходных процессов применялся для поисков хорошо проводящих электрический ток массивных сульфидных руд и при картировании графитизированных пород.

В результате развития измерительной техники и совершенствования программно-математического обеспечения круг решаемых задач значительно расширился. В настоящее время метод *ПП* используется и для решения других задач: картирование осадочных разрезов до глубины 1000 м, поиски и разведка месторождений подземных вод, поиски и разведка кимберлитовых трубок.

Главное достоинство метода – индуктивный способ возбуждения и приема поля, который обеспечивает возможность его применения в зимних условиях, на площадях развития многолетней мерзлоты и высокоомных поверхностных отложений.

Метод ВП (вызванной поляризации) основан на измерении разности потенциалов между измерительными электродами во время прохождения тока через землю и после его отключения. Высокие значения поляризуемости (40–60 %) рудных электропроводящих минералов, таких как сульфиды железа, меди, никеля, а также магнетита и графита, определяют сферы применения метода *ВП*. Даже редкая вкрапленность таких минералов, составляющая лишь несколько процентов от общего объема породы, обуславливает высокие значения поляризуемости породы (10–20 %).

Метод успешно применяется при поисках месторождений черных (железо, марганец, хром, титан), цветных (медь, свинец, цинк, никель), редких (олово, вольфрам, молибден, ртуть) и благородных металлов (золото, платина).

Несмотря на то, что осадочные ионопроводящие породы характеризуются относительно низкими (0,5–3 %) значениями поляризуемости, они хорошо дифференцируются методом *ВП*. Это обусловлено тем, что различные литологические разновидности пород создают различные частотные и временные характеристики поляризуемости. Поэтому метод *ВП* давно и успешно применяется для решения гидрогеологических и инженерно-геологических задач, основными из которых являются: определение глубины залегания уровня грунтовых вод; литологическое расчленение толщ рыхлых осадочных пород с последующим выделением водоносных и водоупорных горизонтов; выявление

зон повышенной трещиноватости в массивах скальных пород; картирование рельефа региональных водоупоров.

Метод ВЭЗ заключается в измерении ρ_k (кажущегося сопротивления) в зависимости от разностей питающих и измерительных электродов. Метод широко используется для определения мощности рыхлых отложений. Метод вертикального электрического зондирования (*ВЭЗ*) предназначен для изучения слоистых толщ по вертикали, определения мощностей и удельных сопротивлений отдельных горизонтов при горизонтальных или слабонаклонных границах с углами падения не более 15–20°.

В последние годы метод *ВЭЗ* начали использовать для изучения и более сложных разрезов. Метод применяется при региональных структурных исследованиях. При этом наиболее благоприятными для использования метода являются пологие платформенные структуры. С помощью метода *ВЭЗ* производится картирование рельефа метаморфических и изверженных пород складчатого основания платформ, перекрытых хорошо проводящими осадочными породами. Однако следует иметь в виду, что решение этой задачи возможно лишь на участках платформ, в пределах которых складчатое основание залегает на глубинах не более 500–1 000 м. При больших глубинах возникают многочисленные искажения.

Метод *ВЭЗ* часто используется при поисках рудных месторождений, особенно в тех случаях, когда изучаемые объекты содержат минералы с электронной проводимостью. С помощью *ВЭЗ*, например, были выявлены и закартированы участки, перспективные на обнаружение медноколчеданных и полиметаллических руд на Южном Урале и в Забайкалье. Рудные тела на геоэлектрических разрезах выделяются локальными зонами пониженных сопротивлений.

При поисках и разведке месторождений каменного угля метод *ВЭЗ* является одним из основных. Он особенно эффективен на месторождениях полуантрацита и антрацита, что обусловлено тем, что ρ_k антрацита существенно ниже по сравнению с вмещающими породами. Несколько худшие результаты метод дает при поисках и разведке бурых и тощих каменных углей. Это связано с меньшей дифференцированностью по значениям ρ_k углей и вмещающих пород.

Метод *ВЭЗ* широко применяют при поисках аллювиальных россыпных и песчано-гравийных месторождений. Основной предпосылкой использования метода является то, что породы коренного ложа долин обычно отличаются от рыхлых аллювиально-делювиальных отложений повышенным сопротивлением.

При поисках месторождений бокситов с помощью метода *ВЭЗ* картируют зоны, имеющие повышенную мощность погребенной коры выветривания, с которой генетически связаны промышленные запасы бокситовых руд.

Наиболее мощные (5–60 м) залежи бокситов сосредоточены в нижних частях элювия. Элювий, залегающий на высокоомных материнских породах, обычно характеризуется пониженными значениями ρ_k .

Метод ВЭЗ широко используется при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. С его помощью осуществляют картирование рельефа пород, служащих основанием для инженерных сооружений, изучают трещиноватость и закарстованность пород, ведут поиски водоносных толщ и структур и т.п.

Метод КС (каротаж сопротивления) основан на измерении удельного кажущегося сопротивления ρ_k горных пород. Каротаж сопротивления — основной метод электрического каротажа скважин, в основе которого лежит различие удельного электрического сопротивления горных пород и полезных ископаемых. Измерения удельного кажущегося сопротивления (ρ_k) производятся с помощью каротажного зонда, опускаемого в скважину на каротажном кабеле.

Метод КС позволяет производить литологическое расчленение разреза, выделять нефтеносные и газоносные пласты, пласты угля, разнообразных руд, каменных солей, определять глубину их залегания, мощность и строение. Применяется, как правило, в комплексе с другими методами каротажа.

Метод ПС (потенциалов самопроизвольной поляризации) заключается в регистрации разности потенциалов между неподвижным электродом, находящимся у устья скважины и электродом, перемещаемым по стволу скважины. Метод ПС является одним из основных электрических методов при исследовании разрезов нефтегазовых скважин. Он включен в обязательный комплекс исследований инженерно-геологических и гидрогеологических скважин.

Для изучения рудных и угольных скважин используются также методы гальванических пар (МГП) и электродных потенциалов (МЭП).

Радиометрические методы. Основаны на выявлении и изучении радиационных аномалий в приземном слое атмосферы, на земной поверхности, в буровых скважинах, горных выработках, а также радиоактивных газов в подпочвенном слое (эманационная съемка — атмохимический метод поисков). Сущность метода заключается в измерении суммарного γ -излучения или дифференциальной регистрации его в определенных интервалах энергии частиц.

Глубинность проникновения γ -лучей в горных породах не превышает 1 м. Однако за счет разрушения вторичных ореолов рассеяния она оказывается больше — 10 м и более.

По условиям применения радиометрические методы подразделяются на:

- аэрометрические;
- наземные (автомобильные и пешеходные);
- глубинные (в шпурах, скважинах, горных выработках).

Измерение радиоактивности ведется с помощью радиометров и гамма-спектрометров.

Гамма-каротаж (ГК) является одним из основных видов геофизического исследования скважин. Он используется при поисках, разведке и опробовании урановых, ториевых руд и других полезных ископаемых, ассоциирующих с *U* и *Th* (например, калийных солей, калиевых слюд, редких металлов); литологического расчленения разрезов, определения глинистости нефтяных коллекторов.

Радиометрические методы применяются при поисках месторождений *U*, *Ra*, *Th*, а при благоприятных условиях – *P*, *Ta*, *Nb*, *TR* и др.

Радиометрическая съемка с использованием радиометров проводится одновременно с геологосъемочными маршрутами (так называемые массовые поиски) при средне- и крупномасштабном геологическом картировании. Горные породы часто отличаются друг от друга по степени естественной радиоактивности. Применение радиометрии позволяет более объективно устанавливать положение контактов и картировать площади распространения литолого-петрографических разновидностей горных пород. Некоторые породы и руды, будучи в чистом виде нерадиоактивными, могут накапливать радионуклиды. Это свойство, в частности, характерно для бурых железняков, фосфоритов, бурого и каменного угля, торфа, битума, редкометалльных грейзенов, пегматитов и др. Например, месторождения бурых железняков Зигазино-Комаровского рудного района (Южный Урал) четко фиксируются положительными урановыми аномалиями даже при аэрогаммасъемке. Рудные поля месторождений редких металлов в некоторых гранитных массивах выделяются слабыми аномалиями тория благодаря присутствию торийсодержащих минералов, прежде всего, монацита ($ThPO_4$), а также ортита и др.

Повышенная радиоактивность характерна для высококалиевых пород (вследствие присутствия тяжелого изотопа калия ^{40}K). По материалам гамма-спектрометрических съемок уверенно выделяются зоны калиевого метасоматоза, практически всегда сопровождающие зоны разнообразного золотого оруденения (золото-кварцевое, золото-сульфидное, золото-серебряное, золото-антимонитового), а также залежи калийных солей. Некоторые месторождения золота, в том числе крупные и гигантские объекты в Средней Азии и в Восточной Якутии, сопровождаются не только калиевыми, но и ториевыми аномалиями за счет развития в околорудных метасоматитах монацита.

Как отмечено выше, глубинность наземных радиоактивных методов обычно ограничена несколькими метрами. Однако при благоприятных литолого-структурных обстановках залежи урана могут создавать радиоактивные аномалии при глубине залегания до нескольких сотен метров. Это часто

обусловлено восходящими потоками радоновых вод, связанных с урановыми рудами, которые по зонам повышенной трещиноватости мигрируют к земной поверхности. Такие аномалии в виде линиаметов северо-восточного простирания, в частности, фиксируются по материалам аэрогаммасъемки в башкирской части Предуральяского прогиба. Это позволяет прогнозировать здесь скрытые месторождения урана.

Ядерно-физические методы. Основаны на регистрации наведенных γ - и нейтронных полей, возникающих при возбуждении атомов под влиянием искусственных источников ионизации. Известно несколько десятков модификаций ядерно-физических методов, однако большинство из них реализовано лишь для стационарных условий (анализов проб).

Рентген-радиометрический метод (автомобильный и скважинный варианты) применяется при поисках месторождений тяжелых металлов: *Pb, Zn, Mo, Sb, Hg, Bi* и др.

Нейтронно-активационный метод (те же варианты) используется при поисках месторождений флюорита, бокситов, меди, марганца и др.

Нейтронный гамма-каротаж (НГК) – радиоактивный каротаж, основанный на измерении характеристик гамма-излучения, сопровождающего поглощение нейтронов в горных породах при их облучении внешним источником нейтронов. Интенсивность вызванного γ -излучения зависит от замедляющих и поглощающих свойств среды: от содержания водорода и хлора. Чем выше содержание водорода в горной породе, тем ниже показания *НГК*. Плотные непроницаемые пласты и пропластки отличаются наиболее высокими показаниями.

Наведенная радиоактивность позволяет с помощью современных приборов (рентген-радиометрических, рентген-флуоресцентных) достаточно точно определять содержания большинства элементов таблицы Д. И. Менделеева. Поэтому эти приборы широко используются для экспресс-анализа геохимических и рудных проб. «Глубинность» методов ограничена зоной контакта с анализируемым образцом.

Ядерно-физические поисковые методы широко применяются при геохимических исследованиях. Они включают гамма-нейтронную (фотонейтронную), нейтронно-активационную и рентгено-радиометрическую разновидности. Методы используются для определения элементов-индикаторов оруденения в рыхлых отложениях и в коренных породах.

Разработано несколько модификаций пешеходных рентгенометрических поисков на ряд элементов-индикаторов руд благородных, цветных и редких металлов: *Cu, Ag, Bi, Pb, W, As, I, Zr, Nb, Mo, Sn, Zn*. Для возбуждения рентгеновской люминесценции элементов горных пород используются

радиоизотопные источники ионизирующих излучений: ^{241}Am для возбуждения Ag , Sb , Sn и ^{109}Cd – для остальных вышеперечисленных элементов. Для регистрации излучения используются рентгенорадиометрические анализаторы типа РПС4-0,1. Они применяются для исследования обнажений и отдельных образцов.

Комплексирование геофизических методов поисков. По объективным причинам ни один из геофизических методов не дает полных и достоверных результатов. Поэтому одиночно их применять нецелесообразно. Обычно на одном и том же объекте сразу реализуется несколько методов. Комбинируя полученную с их помощью информацию, можно более достоверно «расшифровать» геологические особенности изучаемых участков недр.

Ниже приведены два примера, иллюстрирующие некоторые особенности решения геологических задач на основе комплексных геофизических исследований скважин.

На рис. 4.24 изображен разрез скважины, вскрывшей пласт бокситов, залегающий среди карбонатных пород. Разрез изучен с помощью четырех видов каротажа: *ГК*, *КС*, *ПС* и *НГК*. Положение пласта бокситов отчетливо фиксируется всеми видами каротажа. Повышенная интенсивность гамма-излучения бокситов по сравнению с вмещающими карбонатами установлена методом *ГК*. Метод *КС* прекрасно отбивает пласт бокситов, характеризующихся пониженным электрическим сопротивлением, особенно его кровлю. Бокситы имеют повышенную поляризуемость, что отчетливо следует из диаграммы каротажа методом *ПС*. Пониженные значения показаний *НГК* в бокситовом пласте соответствуют широко известному факту присутствия в них повышенных концентраций водорода: бокситы в больших количествах содержат гидроксид алюминия.

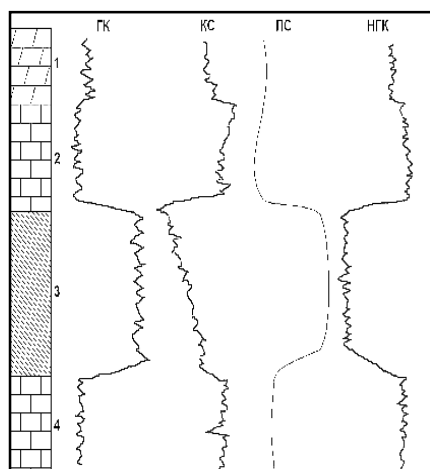


Рис. 4.24. Выделение пласта бокситов комплексом методов ГИС (по И. Г. Сквородникову): 1 – мергели; 2 и 4 – известняки; 3 – бокситы

На рис. 4.25 приведен более сложный вариант интерпретации результатов ГИС. Скважина изучена с помощью четырех методов каротажа *КС* (метод кажущегося сопротивления); *ГГП-П* (гамма-гамма каротаж плотностной), *ГК* (гамма-каротаж) и *КМ* (кавернометрия). На основе сравнительного анализа диаграмм каротажа необходимо найти глубину залегания угольных пластов.

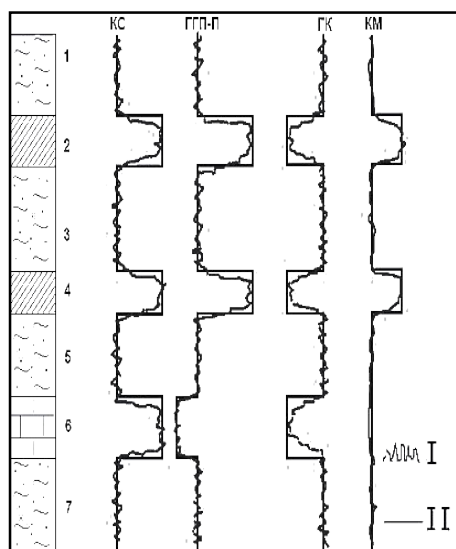


Рис. 4.25. Выделение угольных пластов комплексом методов ГИС (по И. Г. Сквородникову): I – наблюдаемая кривая; II – теоретическое поле; 1, 3, 5, 7 – суглинки; 2 и 4 – каменный уголь; 6 – известняки

Из диаграммы *КС* следует, что этот метод каротажа не позволяет отличить каменный уголь от известняков, поскольку обе породы имеют примерно одинаковые значения сопротивлений. Привлечение материалов плотностного каротажа *ГГП-П* позволяет сразу же выявить различия между каменным углем и известняками: каменный уголь имеет повышенные, а известняки, напротив, пониженные значения определяемого параметра. Простой *ГК* фиксирует изменение интенсивности гамма-излучения, которое обычно хорошо отражает степень глинистости горной породы. Поскольку в угольных пластах и в известняках глина практически отсутствует, показания *ГК* в них имеют пониженные значения. Для сравнения приведена также диаграмма кавернометрии (*КМ*). Методом *КМ* измеряется диаметр скважины. В интервалах распространения каменного угля диаметр скважины оказался увеличенным. Это обусловлено тем, что каменный уголь, обладающий повышенной хрупкостью, при бурении разрушается более интенсивно по сравнению с плотным известняком. В известняках диаграмма *КМ* разрушения стенок скважины не зафиксировала.

4.1.5. Экзотические методы поисков

Месторождения полезных ископаемых во все времена привлекали к себе особое внимание вследствие их большой значимости в разнообразной практической деятельности человека. Открытие месторождений представляет собой весьма сложную задачу, к решению которой привлекаются самые разнообразные методы поисков.

Методы поисков отличаются друг от друга тем, что каждый из них основан на изучении того или иного свойства месторождения: особенностей строения, условий залегания, вещественного состава, условий образования и др. Однако ни один из известных методов не может претендовать на универсальность. По этой причине к открытию месторождений обычно привлекается целый комплекс поисковых методов.

На разработку новых и совершенствование известных методов поисков всегда обращалось особое внимание. В результате этого появились совершенно необычные, нетрадиционные методы, которым можно присвоить название экзотических, поскольку в их основе лежат свойства месторождений, которые при традиционных исследованиях не изучаются. К таким методам в первую очередь следует отнести биолокационный и геокинологический.

Биолокационные методы поисков

На протяжении столетий в разных странах с помощью биолокации обнаруживались *геопатогенные зоны*. История этого древнего искусства уходит вглубь веков. С давних времен во всех странах мира были люди, обладавшие способностью находить спрятанные в земле клады, полезные ископаемые, искать места для рытья колодцев и многое другое. Для этого они пользовались простым приспособлением – раздвоенным прутом, веткой виноградной лозы, которая своим движением помогала *лозоходцу* в его поиске (рис. 4.26).



Рис. 4. 26. Лозоходец (гравюра XVI в.)

Под биолокацией принято понимать способность человека определять наличие каких-либо объектов, предметов в пространстве с помощью простого индикатора-рамки (рис. 4.27) или маятника-груза на нити (рис. 4.28).

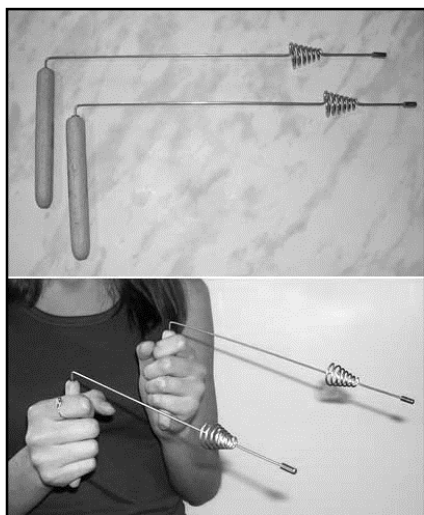


Рис. 4.27. Индикатор-рамка



Рис. 4.28. Маятники для биолокации

Несмотря на обилие публикаций и не снижающийся интерес к рассматриваемой проблеме, биолокация при поисках месторождений практически не применяется. Это следует также и из нормативных документов, регламентирующих методику прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых. Причина этого, очевидно, кроется в том, что методу биолокации присущи элементы субъективизма. Далеко не каждому геологу от природы даны экстрасенсорные способности, необходимые для реализации метода.

Явление биолокации состоит в том, что у одаренных людей (до 10 % населения) зажата в руке рамка из проволоки или раздвоенная ветка отклоняются и даже вращаются при прохождении человека по земле, где находятся подземные водные потоки, залежи руды, карстовые пещеры, клады и другие объекты. Бурение, проводимое в этих местах для контроля, или прямые раскопки часто подтверждают способность людей находить то, что скрыто в недрах. Биолокационным методом выявляются также геопатогенные зоны и разрывные нарушения.

Долгое время биолокация не признавалась и считалась ненаучным методом исследования, основанным на интуиции, на рефлекторной реакции человека, случайно находящего ископаемый объект. Со временем отношение к ней изменилось, поскольку ее эффективность была показана во многих работах. Однако самым существенным недостатком метода является сложность метрологического обеспечения наблюдений (проведения контрольных наблюдений) и количественной оценки выявляемых объектов. Это создает проблемы при их геолого-экономической оценке.

Геокинологический метод – это метод поисков полезных ископаемых с использованием специально обученных для этих целей собак.

Известно, что запах, издаваемый некоторыми минералами (самородный мышьяк, пирротин, пирит, арсенопирит и др.), особенно при ударе или расколе, указывает на присутствие их в породе. Улавливает этот запах даже человек. У собак же обоняние значительно острее. Именно эта особенность собак привела к разработке геокинологического метода поисков месторождений.

Располагая таким чутким «прибором», как обонятельный орган собаки, геологи пришли к мысли о возможности использования его для обнаружения руд и минералов. Его эффективность особенно высока в условиях, когда рудные тела не выходят на поверхность и скрыты наносами рыхлых отложений. Конечно, геологам удобнее было бы иметь на вооружении не собак, а портативные приборы, которые фиксировали бы различные запахи с большей чувствительностью и точностью, чем собаки. Но пока таких приборов нет, в определенных условиях возможно использовать и рудорозыскных собак.

Первыми привлекли собаку для поисков рудных валунов геологи Финляндии. На протяжении трех лет немецкая овчарка по кличке Лари дрессировалась по методике минно-розыскной службы на поиск рудных валунов. В 1965 году на участке площадью 3 км² она нашла 1330 рудных валунов, в то время как специально обученный человек только 270. В России разработкой геокинологического метода поисков полезных ископаемых занимались в Институте геологии Карельского филиала АН СССР совместно с Институтом высшей нервной деятельности и нейрофизиологии АН СССР в 1966–1978 гг. Была доказана возможность поисков с помощью рудорозыскных собак медных, никелевых, бериллиевых, вольфрамовых и других руд. В принципе собаку можно выдрессировать на поиск любых руд, минералов и веществ.

Несколько лет назад исследования в этом направлении были возобновлены. Тендер на выполнение работ, включая подготовку первой группы собак-рудознатцев, выиграла иркутская фирма «КИНОГЕОПОИСК». Рудорозыскные собаки обнаруживают рудные валуны на поверхности земли и рудные тела под землей до глубины 12 м. Они выявляют рудные тела по запаху как на сухих возвышенных, так и на заболоченных участках, в сухое летнее, дождливое осеннее и в зимнее время, когда земля покрыта 40–50-сантиметровым слоем снега, а болота скованы льдом. Проверена возможность работы с собаками следующих пород: немецкая овчарка, оленегонная лайка, доберман, фокстерьер, боксер, спаниель, метис овчарки с лайкой и дворовая беспородная.

Выяснилось, что разные породы собак способны выявлять разные полезные ископаемые: восточноевропейские овчарки – черные металлы, терьеры – цветные металлы, а российская дворовая оказалась единственной собакой, способной выявлять золото. Причем делает она это весьма успешно. Образцы руды с видимым золотом собака безошибочно находит на глубине до 0,5–0,8 м. Образцы с микроскопическим золотом обнаруживает в 80 % случаев на глубине 0,4–0,7 м. По словам специалиста по дрессировке, российская дворовая собака весьма сообразительна и легко обучается.

Подготовка рудорозыскной собаки начинается с общего курса дрессировки. Он почти полностью соответствует общему курсу дрессировки собак для розыскной службы. К специальным навыкам рудорозыскных собак относятся: поиск руды при маршрутной съемке; поиск рудных валунов; отбраковка геологических проб (выборка минералов по их запаху). На первом этапе дрессировки у собаки необходимо выработать реакцию на запах конкретной руды. Приучение собаки к запаху минерала (руды) имеет цель выработать у нее навыки оповещения дрессировщика об обнаруженном запахе посредством лая и посадки. Условными раздражителями при выработке этого навыка является команда «Нюхай!», при маршрутной съемке, кроме того, это команда «Вперед!» и направляющий жест руки. Вспомогательным является условный раздражитель – «Хорошо!», а безусловным – лакомство и поглаживание собаки.

Быстрее всего на поиски руд переключаются собаки, предварительно прошедшие общий и специальные курсы дрессировки. При прохождении общего курса у собак вырабатываются навыки, обеспечивающие управление их поведением, воспитывается необходимое послушание. При дрессировке по специальному курсу у рудорозыскных собак на основе хорошо развитого обоняния вырабатывается навык реагировать на запах руды, обнаруживать во время движения место источника запаха и оповещать об этом дрессировщика. Выработанные у собаки условные рефлексы и навыки должны закрепляться и совершенствоваться постоянной тренировкой. Эффективность использования служебных собак во многом зависит от их правильного содержания, ухода и кормления.

Как и биолокационный, геокинологический метод широкого распространения в геологической практике не получил. В действующих нормативных документах по прогнозированию и поискам месторождений он отсутствует. Очевидно, что причиной этого является то, что под результаты «собачьих» исследований трудно подвести количественную основу. Рудорозыскные собаки фактически фиксируют лишь сам факт наличия руды. Причем конкретная собака реагирует на ограниченное число полезных ископаемых. Информацию о количестве, качестве и глубине залегания обнаруженного собакой полезного ископаемого геолог по результатам таких исследований получить не может.

4.1.6. Горно-буровые методы поисков

Поиски месторождений сопровождаются горно-буровыми работами, целью которых являются: 1) проверка данных, полученных другими методами; 2) вскрытие полезного ископаемого для выяснения его минерального состава, качества и условий залегания; 3) частичное прослеживание тел полезных ископаемых.

Выбор способов вскрытия определяется мощностью перекрывающих пород. При мощности наносов до 0,5 м применяются расчистки, от 0,5 до 3–5 м – канавы и мелкие шурфы.

Канавы задаются вкрест простирания рудных тел. Их длина чаще не превышает 30–40 м. Если ширина выхода объекта изучения больше этих величин, проходятся или магистральные длиной до 500–600 м, или пунктирные канавы. Пунктирные канавы представляют собой совокупность канав, пройденных на одной поисковой линии, причем каждая частная канава отделена от соседней невоскрытым интервалом. В таком виде расположение канав на поисковой линии напоминает пунктирную линию. Поперечное сечение канав – прямоугольное или трапецевидное, ширина у основания 0,6–1,0 м, глубина до 2,5–3,0 м. Канавы должны вскрывать коренные породы не менее чем на 0,5 м. Траншеи обычно проходятся до глубины 5–6 м. При замене канав траншеями всегда следует иметь в виду, что стоимость проходки траншей существенно выше стоимости проходки канав.

При мощности наносов более 3–5 м проходятся шурфы, реже дудки. Поперечные сечения шурфов при глубине до 20 м принимают равными 1,25; 1,65; 2,0 м², при глубине до 40 м – 4 м².

Вскрытие на крутых склонах можно производить штольнями с площадью поперечного сечения до 2 м².

Скважины применяют для вскрытия тел полезных ископаемых, перекрываемых мощными толщами пород. При углах падения минерализованных зон менее 45° бурятся вертикальные скважины, при углах падения более 45° – наклонные скважины. При этом обязательным требованием является то, чтобы угол встречи скважины с телом полезного ископаемого составлял не менее 30°. Глубина скважин на стадии поисковых работ обычно не превышает нескольких десятков (иногда первых сотен) метров. Скважины задаются со стороны висячего бока залежи. Их длина должна обеспечивать полное пересечение залежи плюс «перебур» до 3–5 м вмещающих пород лежачего бока.

Горные выработки и скважины задаются на поисковых профилях (линиях). Создается до 3–5 профилей, которые ориентируются вкрест простирания минерализованной зоны. По мере детализации объемы горно-буровых работ увеличиваются.

4.2. Дистанционные методы поисков

Под дистанционными методами понимается комплекс исследований физических полей Земли, выполняемых при помощи приборов, находящихся на космических и воздушных носителях. С их помощью можно получать информацию о строении земной поверхности, верхней части литосферы, о природных и техногенных объектах и процессах, проводить повторные наблюдения для организации мониторинга. При применении дистанционных методов автоматически регистрируются параметры собственного или отраженного электромагнитного излучения природных ландшафтов и искусственных (техногенных) объектов.

В геологии применяются самые разнообразные дистанционные методы, которые делятся на несколько типов в зависимости от того, какую часть (диапазон) спектра электромагнитного поля они используют. Выделяют следующие основные диапазоны электромагнитного излучения (длины волн):

- гамма-излучение ($<0,01$ нм);
- рентгеновское излучение (0,01–10 нм);
- ультрафиолетовое излучение (10–400 нм);
- оптическое излучение или видимый спектр (400–700 нм);
- инфракрасное излучение (700 нм–200 мкм);
- радиоизлучение (>200 мкм).

К дистанционным относятся также аэромагнитные и аэрорадиометрические съемки.

Аэро- и космофотосъемка. В геологии наиболее широко используются материалы дистанционных исследований, на которых отражается видимая часть спектра исследуемого объекта. Съемку, выполняемую с искусственных спутников Земли (высота первые сотни километров), называют космофотосъемкой (КФС), а с самолетов и вертолетов – аэрофотосъемкой (АФС). В зависимости от высоты, с которой сделана аэрофотосъемка, ее принято подразделять на:

- высотную (5–10 км);
- стандартную (1–5 км);
- низковысотную (100–300 м).

Изготавливаются аэрокосмические снимки трех видов:

1. Черно-белые – местность на них изображается в оттенках серого цвета. Это позволяет избежать излишней пестроты изображения территории, сохранив при этом фототон (интенсивность серого цвета) и фактуру изображения.

2. Цветные – на них отражается естественный цвет фотографируемой поверхности.

3. Спектрозональные, являющиеся разновидностью цветных снимков, получаемых с применением набора фильтров. Снимки представляют собой синтез изображений, полученных из различных диапазонов спектра, каждый из которых имеет определенный цвет. Эти снимки отличаются неестественной цветовой раскраской, повышенной контрастностью и разрешающей способностью. Используемые технологии позволяют совмещать и комбинировать изображения снимаемых поверхностей в различных диапазонах видимого спектра.

Одним из главных достоинств аэрокосмофотоснимков является их документальность, т.е. точное и объективное отображение естественных и искусственных объектов на земной поверхности. Физической основой фотосъемок является изучение отраженного электромагнитного излучения. Информация о строении ландшафтов и земной поверхности зависит от их отражающей способности, характера поглощения и рассеяния электромагнитного излучения, вида природных и техногенных объектов, растительности, типов горных пород, их электромагнитных и тепловых свойств.

Всем дистанционным методам, при использовании которых фиксируется изображение местности в видимом диапазоне спектра, присущ ряд ограничений. Они могут использоваться только в дневное время и в ясную погоду. Кроме того, давая информацию исключительно о земной поверхности, они характеризуют нижележащие толщи горных пород только по опосредованным признакам, которые находят свое отражение в морфологии рельефа, цвете, характере растительного покрова и в других ландшафтных особенностях. Таким образом, сведения о пространственном залегании горных пород и свойствах верхней части литосферы оказываются весьма условными.

Телевизионная съемка (ТС) используется для изучения солнечного электромагнитного излучения, отраженного от земных ландшафтов. Она выполняется с помощью специального приемника с электронным сканированием телевизионного изображения местности. Получаемый растровый снимок большой обзорности или цифровую информацию можно визуализировать на экране дисплея. ТС имеет более низкое разрешение по сравнению с КФС или АФС. Однако в отличие от КФС телевизионная съемка обладает более высокой обзорностью и большей генерализацией объектов. Поэтому ТС используется

как фоновая основа для выявления крупных региональных структур или объектов, определение которых по данным КФС затруднено.

Инфракрасная съемка (ИК), в аэроварианте – тепловая аэросъемка (ТАС), осуществляется с помощью сканирующей аппаратуры (тепловизоров). Инфракрасное излучение как носитель информации близко к световому изображению. Поскольку тепловое излучение тел непосредственно связано с их энергетическим состоянием, оно указывает на температуру и размеры источника. Интенсивность и спектральный состав излучения зависят не только от температуры, но и от электромагнитных и тепловых свойств почв, грунтов и горных пород, на которые направлен объектив тепловизора. Эти особенности ИК-излучения позволяют выявлять природу источников, в том числе обусловленных глубинными процессами, что не удастся при дешифрировании фото- и телеизображений земной поверхности, полученных в видимом диапазоне спектра.

Выделяют две группы задач, решаемых при помощи тепловой съемки. Первая группа связана с изучением аномального температурного поля областей современного вулканизма, зон распространения термальных вод и термального (естественного или техногенного) загрязнения геологической и водной среды. Ко второй группе относится изучение теплового поля, формирующегося за счет солнечной радиации, результат которого можно использовать для региональных геологических и эколого-геологических исследований. Особенно эффективен сравнительный анализ материалов ИК-съемок, сделанных в разные сезоны года, ночных и дневных, т.е. когда меняется температура земной поверхности.

Радиолокационная съемка (РЛ) основана на изучении радиоволнового диапазона электромагнитного спектра. Она подразделяется на пассивную (радиотепловую) и активную (радиолокационную). Радиотепловая съемка во многом аналогична ИК-съемке, но отличается существенно меньшей разрешающей способностью. С ее помощью выделяются термические аномалии, охватывающие большие площади, по которым удастся получать усредненные показатели температурного поля.

При радиолокационных (радарных) съемках изучается способность объектов земной поверхности отражать радиоимпульсы. Интенсивность отраженного сигнала определяется электромагнитными свойствами поверхностных отложений, к которым относятся их диэлектрическая проницаемость и электропроводность, в свою очередь, зависящие от влажности. Разрешающая способность радарного изображения зависит от длины волны и используемого сигнала. Характер изображения определяется шероховатостью растительного покрова, микро- и макрорельефом. В реальных условиях

отражение оказывается полурассеянным, что обусловлено множеством хаотично расположенных неровностей земной поверхности, имеющих размеры, соизмеримые с длиной волны радиоимпульсов.

Радиолокационные съемки позволяют обнаруживать разрывные нарушения, определять состав пород, степень их увлажненности, картировать участки развития и деградации мерзлоты. В условиях развития пород, имеющих низкую электропроводность, радиолокационное зондирование может осуществляться на глубину в несколько десятков метров.

Ультрафиолетовая и лазерная (лидарная) съемки используются преимущественно для контроля загрязняющих компонентов приземных частей атмосферы, для оценки воздействия промышленных объектов, территорий урбанизации и сельскохозяйственной деятельности на окружающую среду. Чаще всего в качестве индикаторов применяются датчики, использующие лазерное излучение, так называемые лидеры (лазерные сенсоры).

С помощью лазерного луча, усиливающего эффект люминесценции аэрозольного и газового загрязнения атмосферы, проводится спектральный анализ загрязняющих веществ. Лидеры позволяют обнаруживать излучение, создаваемое "мишенью" в диапазоне частот, отличном от частоты лазера. Спектральный анализ "мишени" выполняется с практически абсолютной точностью, т.е. он способен обнаруживать отдельные атомы загрязняющих веществ.

В настоящее время созданы лидарные станции (комплексы), которые устанавливаются на воздушных носителях, на высотных зданиях и мачтах, на передвижных наземных носителях. Так, например, для контроля аэрозольных и газовых компонентов атмосферы урбанизированных территорий используется трехканальная лидарная станция. В видимом диапазоне частот контролируется аэрозольный компонент; ультрафиолетовый канал предназначен для контроля загрязняющих газов SO_2 , NO_2 , O_3 ; ИК-канал обеспечивает контроль концентрации NH_3 , C_2H_4 и O_3 .

Лазерный мониторинг позволяет следить за эволюцией и разрушением озонового слоя, контролировать кислородно-азотный баланс в атмосфере, оценивать содержание вредных аэрозольных и газовых компонентов в ее приземной части. По данным лидарных исследований можно определять вклад конкретных источников техногенного воздействия в загрязнение атмосферы, выявлять роль воздушного канала в переносе загрязняющих веществ на исследуемой территории, устанавливать, каково влияние этих веществ на экологическое состояние верхней части литосферы и гидросферы.

Аэрогамма-съемка – радиометрический метод поисков, основанный на измерении интенсивности гамма-излучения горных пород радиометрами, устанавливаемыми на самолетах или вертолетах. Аэрогамма-съемка обычно проводится параллельно с другими геофизическими методами (аэромагнитной и аэроэлектromетрической съемками).

Аэрогамма-съемка применяется для выявления площадей, перспективных на поиски радиоактивных руд, а также для поисков месторождений радиоактивных руд по хорошо проявленным ореолам. Кроме того, она используется при геологическом картировании и при поисках нефтяных и газовых полей. Возможности аэрогамма-съемки в последнее время возросли за счет использования гамма-спектральных измерений, с помощью которых можно определять содержания радиоактивных элементов (U , Ra , Th и ^{40}K) в горных породах, выходящих на земную поверхность. Основное преимущество аэрогамма-поисков по сравнению с наземными гамма-поисками – их высокая производительность и дешевизна. Аэропоиски особенно эффективны при благоприятных для их проведения условиях (хорошая обнаженность, элювиально-делювиальный характер рыхлых отложений при их небольшой мощности, слабая расчлененность рельефа). При неблагоприятных условиях (плохая обнаженность, развитие аллохтонных отложений, сложный рельеф) эффективность аэропоисков значительно уступает наземным поисковым методам.

Измеряемая в воздухе интенсивность гамма-излучения зависит от высоты полета, радиоактивности горных пород и рыхлых отложений, содержания в воздухе радиоактивных эманаций, космического излучения и радиоактивного загрязнения самолета. Последние две составляющие называются остаточным фоном и в современных аэрогамма-радиометрах компенсируются. Влияние радиоактивных эманаций составляет около 5 % гамма-излучения горных пород. Нормальное поле гамма-излучения на высоте 30–40 м над кислыми интрузивными породами составляет около 7–10 мкР/ч, над основными интрузивными породами и известняками – около 1,5–2,0 мкР/ч и над почвами – около 5 мкР/ч.

Амплитуда гамма-аномалии в воздухе зависит от содержания радиоактивных элементов в приповерхностном слое горных пород или рыхлых отложений, от размеров участка, расстояния между участками и прибором, а также от инерционных искажений самолетного гамма-радиометра. В связи со сложным характером зависимости приведенные к Земле значения интенсивности гамма-излучения для локальных аномалий могут отличаться от истинных.

Аэрогамма-съемка с целью поисков месторождений радиоактивных руд обычно выполняется в масштабе 1 : 25 000 (при среднем расстоянии между маршрутами 250 м) и крупнее при высоте полета летательного аппарата 30–50 м. В районах со спокойным рельефом аэрогамма-съемка проводится по сети коротких (30–50 км) параллельных маршрутов, ориентированных вкрест простирания основных геологических структур. При аэрогамма-спектральных измерениях основное внимание обращается на выделение аномалий чисто урановой или смешанной урано-ториевой природы. Локальные аномалии в процессе съемки подвергаются детализации системой коротких маршрутов. Результаты аэрогамма-съемки обобщаются графически путем построения карт изолиний интенсивности гамма-излучения или изолиний содержаний радиоактивных элементов. Правильная оценка выявленных аномалий возможна только при использовании всех имеющихся геологических, геофизических и геохимических данных. Поэтому выделенные аномальные участки подвергаются детальной наземной проверке комплексом геофизических и геохимических методов, которые обязательно сопровождаются геологическими наблюдениями, а в необходимых случаях – горными работами.

Аэромагнитная съемка – это изучение магнитного поля Земли с летательных аппаратов с помощью аэромагнитометров. Метод был предложен и применен советским ученым А. А. Логачевым (1936) для поисков сильномагнитных железных руд. Так были открыты, например, железорудные месторождения Соколовско-Сарбайской группы в Казахстане и Ангаро-Илимской группы в Иркутской области. С разработкой новых высокоточных аэромагнитометров метод стал одним из важнейших при региональных геофизических исследованиях. Результаты аэромагнитной съемки используются при составлении геологических карт для уточнения контуров геологических образований, выявления разрывных нарушений и др. Крупномасштабная аэромагнитная съемка применяется при поисках месторождений железных руд, бокситов, алмазоносных кимберлитовых и лампроитовых трубок взрыва и т. д.

Съемочные маршруты располагаются параллельно друг другу, вкрест простирания геологических структур. Аэромагнитная съемка проводится на постоянной высоте от уровня моря или рельефа местности. В первом случае высота полета контролируется по барометрическому высотомеру, во втором – с помощью самолетного радиовысотомера. Геодезическая привязка маршрутов к местности осуществляется с помощью радионавигационных систем.

Новые перспективы открываются перед аэромагнитной съемкой в связи с разработкой квантовых магнитометров, обладающих высокой разрешающей способностью.

* *

*

Важнейшей особенностью дистанционных съемок является возможность изменения степени обзорности и генерализации объектов, которые зависят от высоты орбиты космического носителя (от 180 до 1 000 км) или от высоты полета воздушного носителя (0,5–10 км), а также от типа аппаратуры, ее разрешающей способности, масштаба съемки. Во многих видах съемок уровень генерализации и разрешающая способность исследований взаимно-обратны: чем больше генерализация, тем меньше разрешение на местности. Таким образом, при интерпретации данных дистанционных съемок имеется возможность направленно генерализовать изучаемую эколого-геологическую ситуацию, выделять региональные или даже локальные объекты, видеть их пространственное соотношение, трудно фиксируемое обычными наземными съемками. При дистанционных исследованиях удастся реализовать "эффект прозрачности": как бы заглянуть внутрь литосферного пространства, получив структурные планы объектов, фрагменты которых только частично выявляются наземными съемками.

4.3. Подводные методы поисков

Донные осадки морей и океанов, а также лежащие под ними коренные породы представляют собой огромные месторождения различных видов полезных ископаемых: нефти и газа, руд золота, платины, олова, вольфрама, железа, марганца, хрома, никеля, кобальта, меди, фосфора, драгоценных камней. В наибольших объемах прогнозные, поисковые и разведочные работы проводятся в США, Канаде, Франции, Великобритании, ФРГ, России.

Объекты исследований. В настоящее время основными объектами исследований являются месторождения, расположенные в пределах береговой зоны суши и мелководной зоны шельфа. Наиболее активно осваиваются подводные месторождения нефти и газа южных и арктических морей. Особое внимание уделяется поиску россыпей в прибрежно-морской и шельфовой зонах.

Границей шельфа считается линия морского дна, находящаяся на глубине 200 м. Общая площадь шельфа составляет 7,5 % площади Мирового океана. В настоящее время около 30 стран мира ведут промышленную добычу полезных ископаемых из шельфовых зон.

При переносе и переотложении обломочного материала в прибрежно-морской зоне происходит длительная повторяемость одних и тех же процессов. Это приводит к совершенной дифференциации обломочного материала по крупности, форме и плотности частиц. Здесь закономерно относительно

береговой линии распространены пески, алевриты, глины, илы, а устойчивыми оказываются минералы самых верхних горизонтов земной коры.

Выделяются три группы россыпеобразующих минералов, отличающихся по условиям переноса, отложения и размещения.

К первой группе относятся тяжелые и устойчивые к выветриванию минералы, обладающие низкой миграционной способностью: золото, платина, касситерит. Они имеют плотность более 7 г/см^3 и сравнительно небольшую механическую стойкость. Прибрежно-морские россыпи этих минералов располагаются не далее 20–30 км от коренного источника.

Вторую группу составляют механически устойчивые минералы с плотностью $4\text{--}7 \text{ г/см}^3$: магнетит, титаномагнетит, ильменит, хромит, монацит, циркон, рутил. Они накапливаются в россыпях в десятках-сотнях километров от коренного источника.

К третьей группе относятся механически особо устойчивые минералы с плотностью менее 4 г/см^3 : алмаз, сапфир, рубин, хризопраз, шпинель, изумруд, топаз. Скопления этих минералов располагаются на расстоянии многих сотен километров от коренного источника.

Пространственное положение прибрежно-морских россыпей определяется геологическими, геоморфологическими и гидродинамическими факторами. При изучении геологической обстановки важно выявить источники сноса полезных минералов. Геоморфологические особенности региона во многом определяют морфологию прибрежных россыпей и их строение. Поэтому следует обращать внимание на изучение особенностей прилегающей к акватории участков суши и прибрежной зоны, а также на характер подводных форм рельефа. Наибольшую роль в формировании, размещении и динамике прибрежно-морских россыпей играют гидродинамические условия: особенности и режим морских течений, характер и степень морских волнений и т.п.

На плоских вершинах срединно-океанических хребтов-рифтов располагаются подводные залежи вулканических сульфидных руд («черные и белые курильщики»), а также железомарганцевых конкреций. «Курильщики» представляют собой трубы и холмы, образовавшиеся в результате подводной гидротермальной деятельности. Первые сложены сульфидами, оксидами, гидросиликатами, карбонатами; вторые — сульфатами, карбонатами, гидрокарбонатами. Железомарганцевые конкреции характеризуются повышенными содержаниями *Au*, *Pt*, *Ni*, *Co*, *Mo*, *W*, *Bi*, *Ga*, *Zn*, *Re* и других элементов. Такие минеральные образования интенсивно изучаются с целью определения экономической целесообразности их использования в народном хозяйстве.

Методика морских прогнозно-поисковых исследований. Геологоразведочные работы в прибрежных зонах морей и океанов так же, как и на суше, проводятся с соблюдением стадийности, которая позволяет отбраковывать неперспективные площади и сосредотачивать исследования на перспективных участках. Для проведения поисково-разведочных работ, особенно в бассейнах с мощным чехлом рыхлых отложений, производственно-техническая база подготовлена пока еще слабо. Геологические съемки разных масштабов проводятся подразделениями ВНИИ Океанологии и других организаций в соответствии с внутриведомственными методическими разработками и инструкциями. Большое внимание при исследованиях уделяется вопросам морской экологии.

Исследования шельфовых зон имеют следующие особенности:

- 1) весь комплекс работ ведется с водной поверхности и частично со льда, что существенно осложняет их проведение вследствие влияния погодных условий;
- 2) сравнительно сложное геологическое строение, обусловленное малыми объемами продуктивных толщ среди мощных полей развития морских отложений. Это затрудняет расшифровку выявляемых физических полей;
- 3) значительная протяженность рудных объектов;
- 4) необходимость использования специализированных морских судов, плавучих и подводных установок;
- 5) необходимость сочетания сухопутных и морских методов геологоразведочных работ.

Разработка методики прогнозно-поисковых работ на шельфе производится в следующих направлениях:

1. Аэрокосмическое и наземное обоснования методики прогнозно-поисковых и разведочных работ.
2. Создание методов непрерывного сейсмоакустического профилирования для различных стадий геологоразведочных работ и комплексирования геофизических методов в сочетании с опробованием верхних слоев рыхлых отложений.
3. Разработка методики изучения характеристик и гидродинамических особенностей формирования морских россыпей.
4. Создание методики геолого-экономической оценки работ на разных стадиях исследований и экономической оценки месторождений.

Основными задачами геологического обоснования методики проведения геологоразведочных работ на шельфе является: 1) разработка прогнозно-поисковых критериев конкретных типов месторождений полезных ископаемых и создание принципов построения палеореконструкций шельфовых зон;

2) изучение возможностей применения традиционных геологических методов прогноза и поисков россыпей, реализовать которые в морских условиях без применения специальных технических средств невозможно. Из традиционных методов геологических исследований используются аэрокосмофотосъемка, шлиховое и геохимическое опробование.

Поиски в морских условиях выполняются с надводных судов, с подводных конструкций и аппаратов, аквалангистами и водолазами. Из них наиболее эффективными и распространенными являются поиски с надводных судов.

Кратко рассмотрим методы поисков, применяемые в шельфовых зонах.

Метод непрерывного сейсмоакустического профилирования (*САП*) предусматривает комплексирование различных геофизических методов исследований в сочетании с опробованием отложений легкими техническими средствами. Метод применяется для изучения и расчленения рыхлых отложений морских бассейнов.

Гидрологическое обеспечение поисков и изучение гидродинамики формирования морских россыпей решается геологическими подразделениями совместно с метеослужбами. Из подводных методов поисков активно используются гидролокация бокового обзора и фотосъемка морского дна.

Для опробования подводных месторождений используются станки ударно-забивного (ударно-канатного), ударно-вращательного, гидромеханического, вибрационного действия, а также унифицированные плавучие буровые установки (на судах). При изучении механических ореолов рассеяния минералов широко применяются морские пробоотборники или грунтовые трубки диаметром 100–200 мм с глубинами внедрения 6–12 м. Используются пробоотборные трубки ударного, забивного, стреляющего, поршневого, насосного, гидростатического, реактивного и вибрационного типов. Для опробования используются также буровые гидравлические снаряды с диаметром труб 200–300 мм и глубиной внедрения 6–8 м, а также драги и дночерпатели различного типа. Драги и дночерпатели позволяют отбирать пробы лишь из поверхностного слоя донных отложений. При этом нарушаются текстурно-структурные свойства осадков, что является недостатком метода, поскольку может затруднить увязку результатов опробования.

Для картировочного и поискового бурения и опробования толщ рыхлых отложений мощностью 8–30 м применяются плавучие буровые установки, на которых используются трубы диаметром 127–250 мм. Они устанавливаются на буксируемых понтонах катамаранного типа грузоподъемностью 100–300 т.

Опережающие работы включают предварительное дешифрирование материалов аэрокосмических фотосъемок, радиолокационных, инфракрасных и телевизионных снимков. Это позволяет составлять предположительные геологические карты, устанавливать участки с обнажениями дочетвертичных пород и площади распространения рыхлых отложений.

Аэромагнитная и гидромагнитная съемки регистрируют магнитные свойства геологических тел, позволяют выявлять их форму и глубину залегания. Морская электроразведка, подводная радиометрическая съемка и магнитометрические работы дают возможность получить информацию о геологическом строении участков дна, для которых отсутствуют изображения на материалах аэрокосмофотосъемок. Кроме того, эти исследования позволяют картировать границы между геологическими телами, определять площади их распространения, а также намечать участки для проведения буровых, водолазных и других детальных методов исследований морского дна.

На этапе подготовки перспективных площадей для исследований производится гидрографо-геодезическое обеспечение работ, выставляются створные знаки и якорные буи. Привязка пунктов наблюдений осуществляется с помощью ГЛОНАСС- и GPS-навигаторов.

Методика геолого-экономической оценки подводных россыпей на разных стадиях геологоразведочных работ разработана недостаточно. Опыта таких исследований пока еще маловато. Важным представляется решение задачи по разработке методики подсчета прогнозных ресурсов категорий P_2 и P_1 и запасов категории C_2 .

4.4. Выбор рационального комплекса поисковых работ

Комплексирование поисковых работ имеет два аспекта: 1) поиски должны быть направлены на выявление всех видов полезных ископаемых, встречающихся в районе; 2) применяемый комплекс методов должен быть эффективным (максимально информативным) и оптимальным в геологическом и экономическом отношениях. Комплексирование уменьшает неоднозначность интерпретации результатов поисков. В применяемый комплекс следует включать только те методы, которые позволяют получить дополнительную или качественно новую информацию.

Прогнозно-поисковый комплекс – это совокупность поисковых предпосылок, признаков, оптимальный комплекс методов поисков, выбранный с учетом геологических и природных факторов, в увязке со стадийностью геолого-разведочных работ.

Пример блок-схемы стадии поискового комплекса приведен на рис. 4.29.

Обобщенная информация о комплексах методов, применяемых при поисках важнейших видов рудных полезных ископаемых, приведена в табл. 4.14. Что касается условий применения отдельных методов, то при их проектировании можно ориентироваться на данные, приведенные в табл. 4.15.

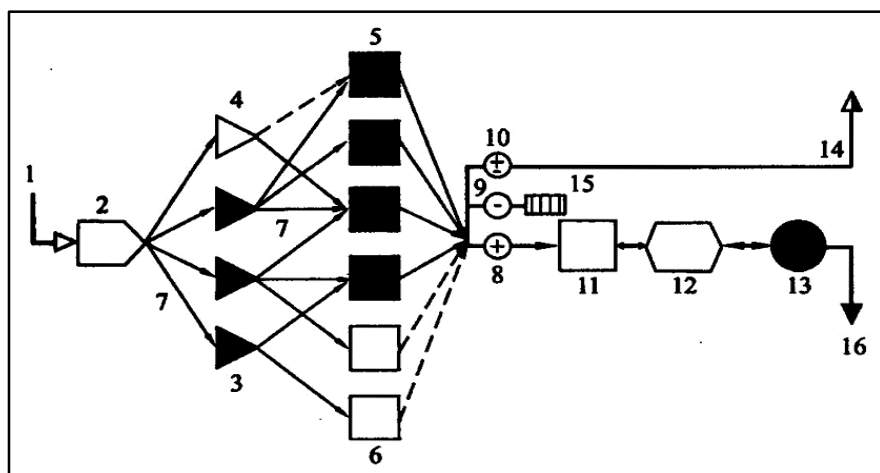


Рис. 4.29. Блок-схема стадии прогнозно-поискового комплекса (по А. И. Кривцову): 1 – переход от предшествующей стадии; 2 – стадия работ; 3–4 – методы работ: 3 – обязательные, 4 - дублирующие либо избыточные; 5–6 – признаки объектов: 5 – необходимые, 6 – дополнительные; 7 – связи, методы-признаки и признаки-объекты (основные и второстепенные); 8–10 – результаты работ: 8 – положительные, 9 – отрицательные, 10 – неопределенные; 11–13 – объекты прогноза и поисков: 11 – геологические, 12 – металлогенические, 13 – ресурсы и запасы; 14 – возврат к предшествующей стадии; 15 – прекращение работ; 16 – переход к последующей стадии

Таблица 4.14

Комплексы поисковых методов рудных месторождений
(по А.Ф. Коробейникову, 2009 с изменениями)

Полезное ископаемое (типы месторожде- ний)	Метод поисков													
	Обломочно-речной	Валуно-ледниковый	Аэрогеологический	Шлиховой	Литохимический	Гидрохимический	Биохимический	Атмохимический	Магнитометрический	Радиометрический	Электрометрический	Гравиметрический	Сейсмометрический	Горно-буровой
Железо	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+
Марганец	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	-	+
Титан	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+
Хром	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-
Медь	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+
Свинец, цинк	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
Алюминий	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+
Никель, кобальт (суль- фидные руды)	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	+
Никель, кобальт (сили- катные руды)	+	+	+	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-
Ванадий	+	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-
Олово	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+
Вольфрам	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	-	+	-	+
Молибден	+	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-
Сурьма	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-
Ртуть	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	+
Золото	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+
Платина	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+
Уран	-	-	-	+	+	-	-	-	+	-	+	+	+	+

Примечание: + – ведущий метод; + – вспомогательный метод, - – метод не применя-
ется. В таблицу не включен метод геологической съемки

Таблица 4.15

Условия применения поисковых методов (по Е. О. Погребницкому Е.О. и др. ..., 1977)

Группа методов	Метод	Сущность метода	Условия применения метода	Вид полезного ископаемого
1	2	3	4	5
Основанные на изучении ореолов и потоков механического рассеяния	Валунно-ледниковый	Исследование крупнообломочных ореолов рассеяния путем отыскания рудных валунов	На площадях развития ледниковых отложений	Медь, никель, свинец, железо, молибден, алмаз
	Обломочно-речной	Исследование крупнообломочных ореолов и потоков рассеяния путем отыскания и прослеживания рудных обломков	На площадях развития аллювиальных, делювиальных, элювиальных отложений	Медь, свинец, цинк, вольфрам, железо, олово, марганец, хром, каменный уголь, исландский шпат и др.
	Шлиховой	Исследование шлиховых ореолов и потоков рассеяния путем отбора и анализа шлиховых проб из рыхлых отложений и коренных пород	На площадях развития аллювиальных и элювиально-делювиальных отложений	Золото, платина, алмаз, вольфрам, ртуть, олово, титан, хром, редкие земли, торий
Геохимические	Литохимический:	Исследование литохимических ореолов и потоков рассеяния путем отбора и анализа проб: а) из коренных пород (в обнажениях, горных выработках, скважинах); б) из рыхлых отложений и почв (песчано-глинистой и илисто-глинистой фракций)	На площадях: а) с хорошей обнаженностью рудовмещающих пород; б) широкого или повсеместного развития рыхлых отложений	Медь, свинец, цинк, ртуть, олово, вольфрам, молибден, сурьма, редкие земли, золото, марганец и др.
	а) по первичным ореолам рассеяния б) по вторичным ореолам и потокам рассеяния			

Продолжение табл. 4.15

1	2	3	4	5
Геохимические	Гидро-химический	Изучение гидрогеохимических ореолов и потоков рассеяния путем отбора и анализа проб воды из источников и водных потоков	На площадях с хорошо развитой гидросетью и многочисленными водными источниками	Медь, свинец, цинк, никель, кобальт, молибден, ртуть, сурьма, уран, минеральные соли
	Атмо-химический	Изучение газовых ореолов рассеяния путем отбора и анализа проб почвенного и надпочвенного воздуха	На площадях развития рыхлых отложений значительной мощности	Радиоактивные руды, нефть, газ, уголь, ртуть, сурьма
	Биогео-химический	Изучение биохимических ореолов рассеяния путем отбора и анализа проб из растительных организмов	На покрытых растительностью площадях со значительной мощностью рыхлых отложений	Молибден, медь, свинец, цинк, никель, кобальт, уран, вольфрам, ртуть, золото, серебро
Геофизические	Магнито-метрический	Выявление магнитных аномалий путем измерения намагниченности горных пород и полезных ископаемых	Присутствие в телах полезных ископаемых магнитных минералов	Железо, титан, ванадий, медь, никель, свинец, цинк, вольфрам, молибден, олово, бокситы, алмаз
	Электро-метрический	Выявление электрических аномалий путем измерения электрических или электромагнитных характеристик полезных ископаемых и горных пород	Наличие различий в электрических свойствах полезных ископаемых и вмещающих горных пород	Медь, свинец, цинк, никель и кобальт (сульфидные руды), молибден, ртуть, сурьма, уголь, графит

1	2	3	4	5
Геофизические	Радио-метрический	Выявление радиоактивных аномалий путем измерения радиоактивности горных пород и полезных ископаемых, а также радиоактивных газов	Присутствие в телах полезных ископаемых радиоактивных химических элементов	Уран, торий, бериллий, бор, кобальт, редкие земли, тантал, ниобий, ванадий, титан (россыпи), олово, висмут, бокситы, фосфориты, калийные соли
	Грави-метрический	Выявление гравитационных аномалий путем измерения приращений силы тяжести	Различие плотностей полезных ископаемых и вмещающих горных пород	Хром, железо, титан, медь, свинец, цинк, вольфрам, бокситы, корунд, минеральные соли, уголь
	Сейсмо-метрический	Выявление благоприятных геологических структур или непосредственно тел полезных ископаемых с помощью искусственно возбужденных сейсмических волн	Различие упругих свойств разных горных пород или полезных ископаемых и вмещающих отложений	Нефть, газ, уголь, минеральные соли, бокситы, железо, марганец

4.5. Оценка результатов поисковых работ

По завершении очередной стадии геологоразведочных работ проводится обобщение информация с целью локализации участков для дальнейших исследований, их разбраковки и геолого-экономической оценки.

4.5.1. Составление отчета о поисковых работах

Результаты поисковых исследований оформляются в виде самостоятельного отчета для стадии «Поисковые работы» либо отдельных глав (полезные ископаемые; закономерности размещения полезных ископаемых и оценка перспектив района) в отчетах о региональных исследованиях.

Текстовая часть сопровождается комплектом графических и табличных материалов и базой данных. Графические материалы включают:

1. Карты геолого-геофизической изученности территории.
2. Карты фактического материала (составляются по видам исследований).
3. Геологические карты:
 - дочетвертичных образований;
 - тематические карты (четвертичных отложений, тектонические, структурные, метаморфизма, палеовулканические, литолого-фациальные, палеогеографические и др.).
4. Геохимические, шлиховые, геофизические карты.
5. Карты полезных ископаемых.
6. Карты закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых.

Изображенные на минерагенических картах перспективные площади классифицируются по степени перспективности и надежности оценки степени перспективности.

Ранее созданные базы данных (БД) должны быть актуализированы и пополнены. Базы данных должны содержать информацию, использованную и обосновывающую построение разнообразных карт, разрезов, профилей и других материалов, приведенных в отчете.

Основной графической компонентой базы данных является карта фактического материала в формате ГИС, включающая:

- авторские объекты наблюдения (точки наблюдения, линии маршрутов, горные выработки), задокументированные в процессе полевых работ;
- необходимое количество объектов наблюдения предшественников (опорные скважины, горные выработки, разрезы, отдельные принципиально важные точки наблюдения);
- стратотипы и петротипы подразделений серийной легенды;
- пункты отбора проб для датирования абсолютного возраста горных пород, связанные с таблицами результатов датирования;
- точки опробования объектов изучения на различные виды анализов, связанные с таблицами результатов аналитических определений;
- пункты геофизических замеров и результаты измерений.

Описание структуры базы включается отдельным текстовым документом в саму БД.

Отчет, графические и табличные материалы и БД представляются на электронных носителях и в аналоговой форме.

Выделение и оценка площадей, перспективных на обнаружение месторождений полезных ископаемых, ведется на основе их комплексного геолого-

экономического анализа. Экономической основой этого анализа являются результаты оценки прогнозных ресурсов.

Основным результатом поисковых работ является геологически обоснованная оценка перспектив исследованных площадей. На обнаруженных 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.

4.5.2. Методы оценки прогнозных ресурсов

Объектами оценки прогнозных ресурсов являются металлогенические (минерагенические) зоны, бассейны, рудные районы, поля, рудопроявления, фланги и глубокие горизонты месторождений. Их оценка должна учитывать возможности комплексного освоения объектов, а также ближайшие перспективы развития техники и технологии разработки месторождений. Оценка прогнозных ресурсов производится по видам полезных ископаемых в единицах массы или объема раздельно по каждому объекту прогноза.

Все методы оценки прогнозных ресурсов основаны на сопоставлении всей геологической информации оцениваемого и эталонного объектов. В качестве эталонных принимаются:

- хорошо изученные бассейны, районы, рудные поля и узлы – для ресурсов категории P_3 ;
- потенциальные месторождения – для ресурсов категории P_2 ;
- разведанные месторождения – для ресурсов категории P_1 .

Для эталонных объектов должны быть известны геолого-промышленный тип, запасы полезных ископаемых, состав, коэффициент рудоносности (минерализации) и др.

Оценка прогнозных ресурсов ведется в два этапа:

- 1) выделение и оконтуривание объекта прогнозной оценки;
- 2) количественная оценка прогнозных ресурсов.

Для одной и той же площади возможна оценка ресурсов по сумме категорий: $P_1+P_2+P_3$.

В литературе описано свыше полутора десятка методов (и их разновидностей) оценки прогнозных ресурсов. Их выбор зависит от стадии геологоразведочных работ, характера и полноты исходных данных, геолого-структурной позиции, вида полезного ископаемого и т.п. В рамках учебного пособия целесообразно рассмотреть лишь методы, наиболее часто применяемые в практике поисковых работ:

- метод экспертных оценок;
- метод прямых расчетов;
- метод оценки по первичным ореолам рассеяния;
- метод оценки по вторичным ореолам рассеяния.

Метод экспертных оценок. Прогнозирование ресурсов методом экспертной оценки целесообразно в случаях, когда исходная информация имеет низкую достоверность, разнородна и ее трудно формализовать, а также при отсутствии эталонов для сравнения. Например, при оценке ресурсов месторождений новых геолого-промышленных типов или месторождений с уникальными наблюдаемыми свойствами.

Процедура оценки сводится к следующему. Независимые эксперты (квалифицированные специалисты в области металлогении, поисков и разведки) на основе анализа территории дают индивидуальный прогноз. В дальнейшем частные оценки обсуждаются и корректируются в несколько туров и устанавливаются наиболее правдоподобные. Недостатком метода является возможный субъективизм и корпоративность при выборе оценок.

Метод прямых расчетов. Расчет прогнозных ресурсов этим методом проводят в тех случаях, когда имеется возможность хотя бы предположительно установить параметры, доступные для расчета по формуле

$$Q_p = k \cdot V \cdot d \cdot c,$$

где Q_p – прогнозные ресурсы, т; k – коэффициент надежности прогноза; V – прогнозируемый или измеренный объем объекта, м³; d – прогнозируемая или измеренная объемная масса, т/м³; c – содержание полезного компонента, г/т.

Если содержание компонента выражено в процентах (масс. доля, %), формула приобретает вид

$$Q_p = k \frac{V \cdot d \cdot c}{100},$$

а если в г/м³:

$$Q_p = k \cdot V \cdot c.$$

Прогнозируемый объем полезного ископаемого вычисляется по формуле

$$V = L_x \cdot L_y \cdot L_z \text{ или } V = S \cdot H,$$

где L_x, L_y, L_z – прогнозируемая или измеренная протяженность оцениваемого объекта соответственно по простиранию, падению и мощности; S – площадь прогнозируемой территории; H – глубина прогноза.

Содержание полезного компонента определяется по данным опробования полезного ископаемого, а если эти данные отсутствуют – по аналогии с хорошо известным эталонным объектом.

Среднюю объемную массу продуктивных образований обычно принимают равной: 2,5–2,8 т/м³ для кислых; 2,9–3,0 для основных; 3,1–3,2 для ультраосновных изверженных и 2,6–2,8 т/м³ для осадочных пород.

Коэффициенты надежности прогноза (k) устанавливаются по результатам экспертной оценки достоверности исходных данных: при очень высокой достоверности k принимается равным 0,8–1,0; при высокой – 0,5–0,6, при низкой – 0,3–0,5.

Метод оценки прогнозных ресурсов по первичным ореолам рассеяния. Основан на корреляционной связи между продуктивностями ореолов и коренных скоплений; предложен А. П. Солововым. Прогнозные ресурсы на заданную вероятную глубину (H) определяются по формуле

$$Q_H = \eta \cdot \alpha \cdot \frac{P}{40} \cdot H,$$

где P – площадная продуктивность ореола: $P = S(C_x - C_\phi)$; C_x – среднее содержание элемента в ореоле, C_ϕ – фоновое содержание; η – коэффициент, учитывающий уровень денудационного среза; α – коэффициент, выражающий долю кондиционных запасов элемента в контуре первичного ореола.

При оценке коэффициента η должны использоваться все геологические данные, а также индикаторные отношения мультипликативных надрудных и подрудных ореолов. Для незеродированных рудных тел $\eta=1,0$, для слабоэродированных $\eta=0,8$, для среднеэродированных $\eta=0,6$.

Коэффициент α выбирается на основе опытно-методических работ. При их отсутствии можно рекомендовать значения, приведенные в Инструкции по геохимическим методам поисков... (1983): для скарново-шеелитовых, скарново-полиметаллических, колчеданно-полиметаллических $\alpha=0,3$; для жильных золото-кварцевых месторождений $\alpha=0,2$ и т.д.

Что касается числа 40, фигурирующего в знаменателе формулы, то его появление обусловлено тем, что значение объемной массы принято равным 2,5, а содержание элемента выражено в процентах. Отсюда следует:

$$\frac{2,5}{100} = 0,025 = \frac{1}{40}.$$

Методы оценки прогнозных ресурсов по вторичным ореолам рассеяния.
Используется та же формула, что и для первичных ореолов, но добавляется коэффициент пропорциональности k :

$$Q_H = k \cdot \eta \cdot \alpha \cdot \frac{P}{40} \cdot H,$$

где k – коэффициент, равный отношению продуктивностей во вторичном и первичном ореолах.

Коэффициент k устанавливается на основе опытно-методических работ или по литературным данным. В условиях гумидного климата для тяжелых устойчивых металлов (Au , Pt , W , Sn) $k < 1$, для растворимых металлов $k > 1$. В условиях аридного климата для устойчивых тяжелых металлов $k \approx 1$, для растворимых металлов $k < 1$. Для условий равнинного рельефа с замедленной денудацией, где наблюдаются погребенные ореолы, значение k для разных металлов может колебаться в очень широких пределах: от $k \ll 1$ до $k \gg 1$.

Оценка прогнозных ресурсов по потокам рассеяния, гидрохимическим, атмосферическим, биохимическим ореолам ведется по аналогичным формулам, но в них добавляются специальные коэффициенты, обеспечивающие переход от первичных ореолов рассеяния ко вторичным.

Оценку прогнозных ресурсов производит организация, проводившая поисковые работы. Первоначально материалы рассматриваются Научно-техническими советами (НТС) территориальных органов с оформлением соответствующих протоколов. При положительном решении НТС материалы оценки прогнозных ресурсов направляются на апробацию в профильные научно-исследовательские институты по курируемым ими видам полезных ископаемых.

Материалы, обосновывающие оценки прогнозных ресурсов, представляются пообъектно с использованием всей информации по геологическому изучению недр – региональным, поисковым, оценочным работам, разведке месторождений. Обязательным требованием к этим материалам является обеспечение возможности проверки, а при необходимости – и корректировки представленных оценок прогнозных ресурсов.

По каждому объекту на бумажных и электронных носителях представляются: пояснительная записка, необходимые табличные и графические приложения и паспорт учета объекта. Пояснительная геолого-экономическая записка объемом до 10 страниц с сопровождающими рисунками и таблицами должна содержать данные, обосновывающие количественную и геолого-экономическую оценки объектов с прогнозными ресурсами соответствующих категорий. Содержание табличных и графических приложений должно обеспечивать возможность полной проверки подсчета прогнозных ресурсов основных и попутных компонентов по блокам, отдельным телам полезных ископаемых, участкам с учетом выделяемых категорий.

Заключения профильных НИИ должны содержать выводы: по комплектности представленных материалов, их качеству, по геологической, количественной, качественной и экономической обоснованности прогнозных ресурсов; по проведенной корректировке. В протоколах профильных НИИ по каждому объекту отражается одна из следующих рекомендаций:

- включить в Перечень прогнозные ресурсы по категориям учета соответствующее количество полезного ископаемого;
- отклонить прогнозные ресурсы (с кратким указанием причин);
- отнести прогнозные ресурсы к «некондиционным» (с кратким указанием причин).

Выписки из протоколов профильных НИИ представляются в соответствующие территориальные органы. Положительное заключение профильного НИИ является основанием для включения объекта в проект перечня участков недр, предлагаемых для предоставления в пользование.

Проект перечней участков недр, предлагаемых для предоставления в пользование, формируется в электронном виде отделами департаментов по недропользованию по соответствующим федеральным округам отдельно для двух групп полезных ископаемых: 1) твердые полезные ископаемые; 2) углеводородное сырье, подземные воды, лечебные грязи. В перечень не включаются участки недр федерального значения и участки недр местного значения.

Проект Перечня участков недр по субъекту РФ сопровождается пояснительной запиской с графическими приложениям, подразделяется на следующие разделы:

- участки недр, предлагаемые в пользование для геологического изучения с целью поисков и оценки месторождений полезных ископаемых за счет средств недропользователей;
- участки недр, предлагаемые в пользование на аукционной основе с целью разведки и добычи полезных ископаемых, а также с целью геологического изучения, разведки и добычи полезных ископаемых, осуществляемых по совмещенной лицензии.

Проект Перечня после необходимых согласований с территориальным фондом геологической информации, органами исполнительной власти субъекта РФ, министерствами обороны, природных ресурсов и экологии не позднее 1 ноября текущего года направляется в Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра) для подготовки заключения о его соответствии действующим нормативным документам и утверждения.

Утверждение Перечня участков недр осуществляется Роснедрами ежегодно на следующий календарный год не позднее 31 декабря текущего года. Утвержденный Перечень участков недр размещается на сайте Роснедр и действует в течение календарного года.

4.6. Охрана окружающей среды при проведении поисковых работ

Использование современных технических и транспортных средств при поисках месторождений приводит к нарушению экосистем. С целью максимального сохранения природы и окружающей среды рекомендуется:

- располагать горные выработки и скважины не по правильной сети (если это не приводит к браку ГРП), а с учетом местных условий (обочины дорог, межи, пустыри); места заложения горных выработок и скважин должны быть согласованы с собственниками земли;
- проводить буровые работы и геофизические исследования в зимнее время;
- не допускать самоизливания бурового раствора, скважины тампонируют;
- своевременно засыпать горные выработки;
- после завершения горных и буровых работ проводить рекультивацию земель;
- располагать магистральные ходы (профили) вдоль дорог, просек, линий электропередачи, если это не приводит к браку геологоразведочных работ; совмещать пункты наблюдений различных методов поисков;
- ограничивать езду на вездеходах и других гусеничных средствах; исключать беспорядочное движение транспорта по всей территории;
- не допускать массового применения буровзрывных работ «на выброс»;
- неукоснительно выполнять требования противопожарной безопасности в маршрутах, при проходке горных выработок и скважин, на лагерных стоянках.

5. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫХ И ПОИСКОВЫХ РАБОТ

Проектирование прогнозно-поисковых и поисковых работ является важным и ответственным этапом их организации. От качества проектирования зависят выбор рационального прогнозно-поискового комплекса, качество реализации планируемых исследований и в конечном итоге их результативность. Здесь и далее под прогнозно-поисковыми работами понимаются поисковые исследования, проводимые в рамках проектов региональных геологосъемочных работ масштабов 1 : 1 000 000, 1 : 200 000, 1 : 50 000 (стадия – региональное геологическое изучение недр). На этой стадии прогнозно-поисковые работы являются составной частью общего комплекса геологосъемочных работ.

Проектно-сметная документация (ПСД) на проведение прогнозно-поисковых и поисковых работ разрабатывается на основе геологического задания и включает в себя: 1) геологическое задание; 2) проект; 3) смету. Составленная исполнителем ПСД проходит внешнюю экспертизу; к которой обязательно должны быть приложены: экспертное заключение, протокол рассмотрения ПСД на НТС исполнителя и протокол утверждения ПСД на НТС заказчика.

5.1. Геологическое задание

Геологическое задание является основным документом, регламентирующим состав, подготовку и проведение прогнозно-поисковых и поисковых работ. Выдает и утверждает геологическое задание организация-заказчик. В нем определены: 1) целевое назначение работ, пространственные границы объекта и основные оценочные параметры; 2) геологические задачи, последовательность и основные методы их решения; 3) ожидаемые результаты (с указанием форм отчетной документации), порядок апробации и приемки отчетных материалов, сроки проведения работ и время представления отчета. В преамбуле к геологическому заданию указываются: основание для проведения работ, источник финансирования, Исполнитель работ. Геологическое задание должно быть согласовано и подписано Исполнителем, руководителем Департамента недропользования и утверждено Заказчиком.

5.2. Проект

Проект является основным документом, регламентирующим весь ход производства работ на объекте исследований, и составляется исполнителями работ. Проект состоит из двух частей: 1) методической; 2) производственной.

5.2.1. Методическая часть

При составлении методической части проекта соблюдаются требования нормативных документов, определяющих содержание, методику и технологию всех видов геологоразведочных работ, с помощью которых реализуется геологическое задание. Методическая часть проекта состоит из разделов:

- общие сведения об объекте работ;
- общая характеристика геологической изученности объекта;
- геологическая, гидрогеологическая, геофизическая, геохимическая характеристики района;
- методика и объемы проектируемых работ;
- сводный перечень проектируемых работ;
- ожидаемые результаты.

Общие сведения об объекте работ

В разделе приводится характеристика географического и административного положения района работ. В тезисной форме освещаются: 1) особенности рельефа (высотные отметки, обнаженность, закарстованность, проявления оползней и т.п.); 2) гидросеть (режим рек и озер, наличие искусственных водоемов, источники питьевого и технического водоснабжения); 3) климат (среднемесячные температуры воздуха по сезонам, продолжительность зимнего и летнего периодов, среднемесячное количество осадков, высота снежного покрова, время замерзания и вскрытия рек, мощность ледяного покрова); 4) растительность (залесенность, заболоченность района, почвенный слой, угодья, пашни); 5) животный мир (наличие хищных зверей, змей, энцефалитная опасность); 6) категории проходимости.

В разделе также приводятся экономические сведения о районе работ: 1) характеристика промышленных объектов, особенно горнодобывающих; 2) наличие и мощность источников электроэнергии; 4) развитость магистральной и местной дорожной сетей, их состояние по сезонам; 5) возможность набора рабочей силы; 6) возможность аренды помещений для жилья и производственных целей; 7) другие данные, оказывающие влияние на организацию геологоразведочных работ.

Текст раздела иллюстрируется обзорной картой района проектируемых работ, позволяющей оценить своеобразие организации работ на объекте. Масштаб карты выбирается таким, чтобы ее размер не превышал листа формата А4.

Общая характеристика геологической изученности объекта

Раздел посвящается краткому обзору, оценке и анализу ранее выполненных геологических, гидрогеологических и геофизических работ. Информацию целесообразно систематизировать в табличной форме.

В пояснительном тексте приводится обобщающий критический анализ результатов предшествующих исследований.

При наличии протоколов НТС, ГКЗ, ТКЗ с рекомендациями по направлению и методике изучения территории излагается их содержание. Приводятся данные о прогнозных ресурсах и запасах полезных ископаемых; сведения об обеспеченности площади работ топографическими картами, аэрофотоматериалами и космическими снимками соответствующих масштабов с указанием степени их дешифрируемости. К тексту раздела прилагаются картограммы геологической, гидрогеологической и геофизической изученности. На картограммах показываются контуры площадей ранее проведенных и проектируемых работ.

Геологическая, геохимическая, гидрогеологическая, геофизическая характеристики района

В объеме, необходимом для обоснования направления и методики выполнения проектируемых работ, излагаются данные по стратиграфии, тектонике, магматизму, геоморфологии, геохимии, гидрогеологии, геофизике, полезным ископаемым объекта работ. Приводится деление района работ по категориям сложности геологического строения. Отмечаются возможные осложнения при бурении скважин и проходке горных выработок; приводится группировка развитых на площади горных пород по категориям буримости и крепости при проходке горных выработок. Дается характеристика геологических предпосылок и признаков ожидаемого оруденения. К разделу прилагаются геологическая, гидрогеологическая, геоморфологическая и другие карты.

Методика и объемы проектируемых работ

Данный раздел является наиболее важным. Его разработка требует от составителя высокой квалификации и всесторонних знаний района работ.

На основе анализа комплекса геологических, гидрогеологических, геофизических, физико-географических и экономических особенностей объекта с учетом рекомендаций предыдущих исследований по дальнейшему направлению работ обосновывается рациональный комплекс исследований (работ) для выполнения геологического задания.

Исходя из конкретных геологических задач, требований к содержанию геологической информации, особенностей объекта исследований выбираются методы, способы и виды работ и определяются их объемы.

Геологосъемочные и поисковые работы. Указываются масштаб и площадь проектируемых работ. Обосновываются объемы работ по каждому виду и методу исследований. На основе анализа материалов предшествующих исследований определяются:

- категории сложности геологического строения территории при изучении дочетвертичных и магматических образований;
- категории сложности геологического строения территории при изучении рыхлых четвертичных образований;
- категории сложности составления стратиграфических колонок;
- категории проходимости местности для пеших переходов производственных групп в процессе полевых работ;
- категории обнаженности горных пород при проведении наземных геологосъемочных и поисковых маршрутов;
- категории сложности геологического изучения объектов;
- категории дешифрирования аэрокосмических снимков;
- категории промывистости горных пород (при ручной промывке).

Обосновывается необходимость составления опорных стратиграфических разрезов. Составляются схема наземных маршрутов и график выполнения работ.

Геохимические работы. Содержание проектируемых геохимических исследований определяется их местом в рациональном комплексе геологоразведочных работ.

Исходя из конкретных геологических задач и специфических особенностей объекта обосновываются методы геохимических исследований, объем работ, густота сети наблюдений, ориентировка маршрутов и профилей. Определяются условия и способы отбора и обработки проб.

Гидрогеологические работы. При проектировании гидрогеологических наблюдений за режимом подземных и поверхностных вод в зависимости от

гидрогеологических условий площади исследований и поставленных геологических задач определяются количество и местоположение водопунктов (родников, колодцев, скважин), включаемых в режимную сеть, выбираются поверхностные водотоки для проведения стационарных гидрометрических наблюдений за их расходами. Указываются расстояния между пунктами наблюдений, определяются характер наблюдений и периодичность замеров. Устанавливаются способы производства замеров. Обосновываются продолжительность режимных наблюдений и способ передвижения наблюдателей при проведении полевых работ.

Для предотвращения загрязнения и истощения подземных вод предусматриваются работы по ликвидационному тампонажу буровых скважин и засыпке заброшенных колодцев.

Опробование. Определяются виды опробования, объемы и способы отбора и обработки проб, количество проб по типам и размерам (сечение борозд, глубина задирок и пр.), длина интервалов опробования керна буровых скважин, категории крепости опробуемых пород.

Приводится обоснование начальных и конечных масс обрабатываемых проб, коэффициента неравномерности k , принимаемого при составлении схемы обработки проб.

При проектировании опробования геофизическими методами указываются объемы и метод опробования.

Геолого-экологические работы. При проектировании геоэкологических исследований указываются объекты хозяйственного использования, являющиеся источниками загрязнения подземных вод, с учетом сложности их обследования. Обосновываются виды и объемы эколого-геохимических работ; работ, связанных с охраной подземных вод от истощения и загрязнения.

При проектировании мониторинга подземных вод приводятся краткие сведения о наблюдательной сети. Обосновываются необходимое количество пунктов наблюдений, периодичность замеров, виды и объемы работ по восстановлению, ремонту и чистке скважин, периодичность опробования, количество проб и виды анализов. Составляется график инспектирования пунктов наблюдений.

В проекте мониторинга экзогенных геологических процессов приводятся краткие сведения о их связи с атмосферными осадками, температурой воздуха, изменениями уровня озер, водохранилищ, расходами рек и другим быстро изменяющимся факторам.

Приводится обоснование количества пунктов наблюдений, необходимости и объемов аэровизуальных исследований, пеших наземных маршрутов, установки реперов, марок, маяков и т.п.

Геофизические работы. Данный вид работ может выполняться как по самостоятельным проектам, так и в составе единого проекта, как отдельный вид работ. В проекте излагаются условия выполнения и геологические задачи, подлежащие решению геофизическими методами. Обосновывается рациональный комплекс методов и видов работ. По каждому виду определяются объемы основных и вспомогательных работ, включая площадь, на которой будут организованы исследования, их масштаб, сеть наблюдений, топографо-геодезическое обеспечение и т.д. Приводится методика интерпретации материалов по каждому геофизическому методу.

Горнопроходческие работы. Дается обоснование мест заложения горных выработок, их сечения, объемов проходки по видам выработок, способам проходки и по категориям крепости пород. Указываются горногеологические и гидрогеологические условия производства горнопроходческих работ. Определяются объемы засыпки горных выработок, порядок топографо-геодезического обеспечения работ.

Буровые работы. Исходя из поставленных задач и требований к геологической информации обосновываются расположение поисковых профилей, места заложения скважин, их глубина.

Рассчитываются объемы бурения, которые распределяются по назначению скважин (структурные, картировочные, поисковые), по типу скважин (вертикальные, наклонные, многоствольные), по способам бурения (колонковое, бескерновое, шнековое, ударно-канатное и т.п.), по способам получения электроэнергии (от стационарной сети, индивидуальной передвижной электростанции).

Объемы бурения распределяются также по группам скважин с учетом их глубины, среднего диаметра, категориям буримости горных пород. Обосновывается минимально допустимый выход керна по вмещающим породам и залежам полезных ископаемых. Указывается комплекс мероприятий, необходимых для получения требуемого выхода керна.

Дается обоснование объемов вспомогательных работ, сопутствующих бурению скважин: промывка, крепление обсадными трубами, цементирование колонн обсадных труб, тампонирующее и т.п.

Лабораторные работы. Исходя из поставленных геологических задач, необходимости комплексного изучения полезного ископаемого определяются виды, объемы лабораторных исследований полезных ископаемых и горных пород. Для гидрогеологических и инженерно-геологических работ оцениваются объемы и виды лабораторных исследований проб грунтов и воды.

Объемы работ группируются по типам лабораторий (центральные, полевые) и видам исследований: химические, спектральные, пробирные анализы; минералогические, петрографические, углепетрографические, литологические исследования; палеофитологические и палеофаунистические исследования; испытания нерудных полезных ископаемых; ядерно-физические, рентгено-спектральные и другие виды анализов.

Для каждого вида лабораторных исследований указывается, какие химические компоненты, физико-химические константы и другие свойства следует определить при анализе. Обосновывается количество проб, направляемых на внутренний, внешний и арбитражный геологический контроль.

Топографо-геодезические работы. Определяются цели и задачи проектируемых топографо-геодезических работ с указанием их назначения, содержания, размещения, методики проведения, масштаба, объемов по видам работ и категориям трудности их производства.

Для обеспечения необходимой точности геологоразведочных работ проектируется инструментальная плано-высотная привязка скважин, горных выработок и водопунктов режимной сети.

При проектировании топографо-геодезических работ особое внимание должно быть обращено на эффективное использование имеющихся топографических и аэросъемочных материалов (топографических карт, фотопланов, фотосхем и т.п.).

Камеральные и издательские работы. В соответствии с геологическим заданием и существующими инструкциями определяются перечень, объем и содержание отчетных материалов, представляемых по результатам выполненных работ, включая обязательные и вспомогательные карты, разрезы, геологические схемы и другие материалы. Отчет и все прилагаемые к нему графические материалы должны быть оформлены в соответствии с действующим ГОСТ Р 53579-2009.

Обосновываются сроки и продолжительность камеральных работ

Сводный перечень проектируемых работ

Сводный перечень проектируемых работ составляется по форме, приведенной в табл. 5.1 в номенклатуре, применяемой в дальнейшем для использования при расчетах затрат времени по Сборнику сметных норм, 1992 (СН-92) с изменениями, внесенными в 2010 г. Работы, не учтенные в СН-92, включаются в сводный перечень дополнительно.

Таблица 5.1

Сводный перечень проектируемых работ

№ п/п	Виды, методы, способы, масштабы работ, условия производства (категория сложности, сечения выработок, категории пород и т.д.)	Единица измерения	Проектируемый объем
1			
2			
3			

Ожидаемые результаты

Ожидаемые геологические результаты определяются исходя из целевого назначения работ и геологических задач, установленных заданием, действующих нормативных документов, предусматривающих требования к их конечным результатам.

5.2.2. Производственная часть

Производственная часть проекта содержит организационные условия производства геологоразведочных работ, расчет времени, затрат труда и расходования материальных ценностей на все виды геологических исследований, объемы которых определены в методической части проекта.

Исходя из календарного плана работ, составленного по срокам выполнения геологического задания с учетом организационных условий производства, определяются необходимые трудовые и материальные ресурсы по годам. Обосновываются объемы производственного и бытового строительства. Они рассчитываются по нормам ССН-92, вып. 11, ч. 2.

В обязательном порядке изучаются возможности замены временного строительства арендой зданий и сооружений или приобретением их у предприятий и населения. В случае нового строительства или покупки зданий и сооружений необходимо определить возможность их реализации после окончания работ и предусмотреть это в проекте.

Составляется схема перевозки грузов и транспортировки персонала. По нормам ССН-92 (вып. 10) рассчитывается необходимое количество грузов по видам транспорта и затрат времени на транспортировку персонала с учетом времени полевых сезонов.

Обосновываются затраты на прочие сопутствующие работы (производственные командировки, полевое довольствие, доплаты и др.).

5.2.3. Определение стоимости работ и составление сметы

Смета составляется на весь объем геологоразведочных работ и затрат, предусмотренных проектом. Сметная стоимость геологоразведочных работ складывается из основных расходов, накладных расходов, плановых накоплений, компенсируемых затрат, подрядных работ и резерва на непредвиденные расходы. Нормы накладных расходов и плановых накоплений устанавливаются заказчиком проектно-сметной документации.

Общая сметная стоимость геологоразведочных работ рассчитывается по следующей номенклатуре работ и затрат, с подразделением каждой позиции по видам, методам, способам, масштабам и т.п.

I. Основные расходы.

А. Собственно геологоразведочные работы:

- предполевые работы и проектирование;
- полевые работы;
- организация и ликвидация полевых работ;
- лабораторные и технологические исследования;
- камеральные и опытно-методические работы;
- прочие собственно геологоразведочные работы.

Б. Сопутствующие работы и затраты:

- строительство зданий и сооружений;
- транспортировка грузов и персонала партий и экспедиций;
- прочие сопутствующие работы и затраты.

II. Накладные расходы.

III. Плановые накопления.

IV. Компенсируемые затраты.

V. Подрядные работы.

VI. Резерв на непредвиденные расходы.

ЧАСТЬ II

РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

6. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ ВЫРАБОТОК

6.1. Общие положения

Геологическая документация при геологоразведочных работах (ГРР) – это совокупность операций по созданию и обобщению документов, отражающих результаты геологических наблюдений. Понятие «геологическая документация» имеет два аспекта: с одной стороны – это процесс создания геологических документов, с другой – совокупность созданных в результате этого процесса геологических документов.

В зависимости от видов наблюдений выделяется несколько разновидностей документации – геологическая, геохимическая, геофизическая, гидрогеологическая, инженерно-геологическая, опробования и др. (В. М. Крейтер, 1969).

Геологическая документация подразделяется на первичную (полевую) и сводную (обобщающую).

Первичная геологическая документация является исходным для последующих обобщений материалом, в котором отражены наблюдаемые в полевых условиях (в обнажениях, горных выработках, буровых скважинах) явления природы. К первичной геологической документации относятся:

- текстовый материал в виде полевых дневников с записями наблюдений в геологических маршрутах;
- журналы документации с зарисовками и фотографиями обнажений, горных выработок и материала, полученного при бурении скважин, в масштабах от 1 : 100 до 1 : 1, сопровождаемые текстовыми описаниями;
- журналы образцов и проб с характеристикой их наименования, мест отбора и целевого назначения;
- журналы геофизических измерений в горных выработках и скважинах;
- каменный материал (образцы, керн, шлам).

В каждой организации, осуществляющей геологические исследования, первичная геологическая документация ведется в соответствии с предварительно составленной и утвержденной руководителем предприятия инструкцией, которая включает в себя разработанную систему нумерации точек наблюдения при проведении геологосъемочных и поисковых маршрутов,

горных выработок и скважин, систему условных обозначений (легенду), методику описания и зарисовки объектов наблюдения и др.

Первичную геологическую документацию ведет инженерно-технический персонал. Ее качество периодически проверяется руководителями и квалифицированными специалистами геологоразведочных организаций путем сличения с натурой данных, зафиксированных в полевых дневниках и журналах. Результаты проверок оформляются специальными актами.

Первичная геологическая документация имеет исключительно важное значение, поскольку является основой для создания разнообразных геологических моделей месторождений. Материалы первичной документации вместе с отчетами сохраняются и после завершения отдельных этапов геологоразведочных работ. Действующим законодательством РФ о недрах предусматривается ответственность предприятий и организаций, осуществляющих геологическое изучение недр, за сохранность геологической документации, образцов горных пород и руд, керн, дубликатов проб полезного ископаемого, которые могут быть использованы при дальнейшем изучении недр, разведке и разработке месторождения.

Сводная геологическая документация – это карты и планы различного назначения, разрезы, проекции, блок-диаграммы, цифровые модели. Сводная документация составляется на основе первичной с использованием методов интерполяции и экстраполяции и по этой причине включает в себя элементы гипотетичности (может быть многовариантной).

Сводные документы создаются на топографической или маркшейдерской основе в единой системе координат. Масштабы сводных геологических документов в зависимости от их назначения, содержания, вида полезного ископаемого, плотности разведочной сети, сложности строения и размеров изучаемых объектов могут изменяться в широких пределах.

Сводными документами являются государственные геологические карты территорий и регионов, карты полезных ископаемых, карты закономерностей размещения и прогноза полезных ископаемых и др. В зависимости от масштаба они подразделяются на обзорные (1 : 2 500 000 и мельче), мелкомасштабные (1 : 1 000 000 – 1 : 500 000), среднемасштабные (1 : 200 000 – 1 : 100 000), крупномасштабные (1 : 50 000 – 1 : 25 000). Геологическое строение рудных полей обычно изображается в масштабах 1 : 10 000–1 : 5 000; месторождений и их участков – в масштабах 1 : 2 000–1 : 500 (в зависимости от сложности строения и размеров объектов изучения). Морфологические особенности и внутреннее строение отдельных рудных тел, их пространственные связи с геолого-структурными элементами изображаются на погоризонтных планах и разрезах в масштабах 1 : 1 000 – 1 : 200. В этих же масштабах отображаются и результаты опробования.

Сводные геологические документы создаются путем обобщения материалов полевой документации и окончательно оформляются в процессе камеральных работ. По результатам полевых работ составляются: карты фактического материала по всем видам полевых исследований; полевые геологические карты; уточненные геологические легенды (условные обозначения); частные стратиграфические колонки и разрезы; планы и разрезы опорных участков и месторождений в целом; материалы геофизических, геохимических, гидрогеологических, инженерно-геологических и других работ с результатами предварительной обработки и интерпретации.

По завершении камеральной обработки сводная геологическая документация в соответствии с инструкциями по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты РФ соответствующих масштабов либо Методическими рекомендациями по применению классификации запасов... (2007), разработанными ФБУ «ГКЗ», оформляется в виде итоговых отчетов. Оформление отчетов должно соответствовать ГОСТ Р 53579–2009 «Отчет о геологическом изучении недр. Общие требования к содержанию и оформлению». Отчеты представляются на апробацию (экспертизу), после чего направляются для официального издания (Государственные геологические карты и объяснительные записки к ним) или для постановки запасов полезного ископаемого на Государственный баланс. В дальнейшем все материалы в аналоговой форме и в электронном виде вместе с базами данных передаются в Федеральное государственное бюджетное учреждение «Российский федеральный геологический фонд» (ФГБУ «Росгеолфонд») или его структурные подразделения для хранения.

6.2. Топографо-геодезическое обеспечение геологоразведочных работ

Топографо-геодезические работы при геологических исследованиях проводятся с целью определения размеров и пространственного положения геологических объектов. Это обеспечивает возможность составления плоских графических (в виде совокупности карт, планов, разрезов, проекций), объемных, цифровых, вербальных и других моделей геологических объектов.

Выбор способов привязки геологических объектов определяется детальностью выполняемых геологоразведочных работ, от которой зависит масштаб сводных графических документов, наличием соответствующей топографической основы, геодезических приборов и геодезических технологий; значимостью объекта изучения.

К настоящему времени для всей территории Российской Федерации созданы Государственные топографические карты в масштабах 1 : 1 000 000, 1 : 500 000, 1 : 200 000, 1 : 100 000, 1 : 50 000 и 1 : 25 000. Для части территории площадью порядка 4,5 млн км² (наиболее развитые промышленные и сельскохозяйственные районы) составлены карты в масштабе 1 : 10 000. На все города, поселки городского типа и промышленные зоны имеются карты масштабов 1 : 5 000 и 1 : 2 000. Топографические карты масштабов 1 : 1 000 000–1 : 25 000 применяются в качестве основы при составлении мелко-, средне- и крупномасштабных региональных геологических карт. Они приобретаются недропользователями в отделениях ФГБУ «Росгеолфонд» или АО «Роскартография».

Обратим внимание на точность, с которой определяется пространственное положение геологических объектов: точек наблюдения, обнажений, горных выработок, скважин и т. п. Точность определения планового и высотного положения геологических объектов должна соответствовать требованиям, изложенным в Инструкции по топографо-геодезическому обеспечению геологоразведочных работ (1996). Эти требования систематизированы в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Предельно допустимые среднеквадратические погрешности
определения положения геологических объектов

Масштаб ГРП	Среднеквадратическая погрешность (СКП), м	
	в плане	по высоте
1 : 100 000 и мельче	80(100)	10(20)
1 : 50 000	40(50)	5(10)
1 : 25 000	20(25)	2(3)
1 : 10 000	5	1(2)
1 : 5000 и крупнее	2	0,5

Примечание. В скобках указаны СКП определения положения геологических объектов для пустынных, залесенных и горных районов.

Согласно действующим нормативным документам предельно допустимая среднеквадратическая погрешность плановой привязки геологического объекта (графическая точность масштаба) не должна превышать $\pm 0,2$ мм в масштабе создаваемой карты или плана.

Для повышения точности создаваемых карт в качестве рабочей (полевой) топографической основы обычно используются карты более крупного масштаба. Так, при геологических съемках масштаба 1 : 200 000 в качестве рабочей топографической основы используются карты масштаба 1 : 100 000, а при

съемке масштаба 1 : 50 000 – масштаба 1 : 25 000. Рабочие карты в дальнейшем трансформируются в карты, соответствующие основному масштабу.

Привязка геологических объектов при региональных исследованиях осуществляется инженерно-техническим персоналом партий, ведущих эти работы. Точки наблюдения привязываются к характерным элементам рельефа или местным предметам глазомерным способом с использованием топографических карт, аэрофотоснимков (АФС), горных компасов, дальномеров, шагомеров и измерением расстояний шагами.

С повышенной точностью ведется привязка наиболее значимых геологических объектов (горные выработки и скважины, вскрывшие полезное ископаемое; скважины глубиной более 50 м и т. п.). Такие объекты привязываются инструментально с использованием геодезических приборов.

В Российской Федерации для привязки геологических объектов используются навигационные приемники системы ГЛОНАСС (Глобальная навигационная спутниковая система). Широко использовавшиеся ранее приемники аналогичной американской системы GPS [англ. – Global Positioning System] в настоящее время применяются в значительно меньшей степени, что обусловлено изменившейся военно-политической обстановкой в мире. Системы позволяют в любом месте Земли (исключая приполярные области) почти при любой погоде, а также в околоземном космическом пространстве определять местоположение и скорость движения объектов с получением трех координат (x, y, z). Трехмерное положение точек получают с помощью засечек с искусственных спутников Земли.

При региональных исследованиях обычно применяются навигационные приемники пониженной или средней точности. В статическом режиме первые обеспечивают определение плоских координат со среднеквадратической погрешностью 15–30 м, а вторые – 1–5 м. Следует иметь в виду, что на точность спутниковых определений оказывают влияние: время накопления информации в точке, выбор времени измерения с учетом видимости достаточного количества спутников, закрытие видимости спутников деревьями, искусственными сооружениями и т. п.

При поисковых, оценочных и разведочных работах привязка геологических объектов ведется с повышенной точностью. Эти работы выполняются в соответствии с действующей «Инструкцией по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ, 1996», актуализированной 1.01.2018 г. *Основными задачами* топографо-геодезического обеспечения работ на указанных стадиях являются:

- создание геодезической основы ГРР;
- топографическая съемка с целью составления карт в масштабах 1:10 000 и крупнее;
- проведение разбивочно-привязочных и маркшейдерских работ;
- создание топографических основ специальных геологических карт.

Топографо-геодезические работы выполняются специализированными бригадами, отрядами, партиями, входящими в состав геологоразведочных предприятий, или сторонними организациями на договорных условиях.

Геодезическая основа ГРР создается путем развития (сгущения) имеющихся точек опорной геодезической сети, включая инструментальное определение координат и закрепление их положения на местности. Топографо-геодезические работы проводятся, как правило, в Государственной геодезической системе координат 2011 г. (ГСК-2011) и Балтийской системе высот (1977 г.). Ранее действовавшие системы географических и прямоугольных координат (1942 г. и 2015 г.) в связи с введением в действие с 1.07.2018 г. ГОСТ 32453-2017 в настоящее время не применяются. При работе с документами, в которых используются старые координатные системы, координаты определяемых точек в соответствии с требованиями вышеуказанного ГОСТа следует преобразовать в новые. Пересчет координат может быть осуществлен с помощью координатного калькулятора, реализованного в программе EXCEL (EXCEL 2021-05-27).

В случаях, когда изучаемые площади находятся на расстоянии более 10 км от пунктов государственных геодезической и нивелирной сетей, допускается применение местных систем координат и высот. Положение пунктов местной геодезической сети должно быть определено с точностью, обеспечивающей переход к Государственной системе координат и высот.

Топографические съемки в масштабах 1 : 5 000 и крупнее (при геологоразведочных работах на месторождениях простой сложности – 1 : 10 000) проводятся в соответствии с нормативными документами АО «Роскартография». Масштабы топографических съемок должны соответствовать масштабам отчетных специальных геологических карт и удовлетворять требованиям «Методических рекомендаций по применению классификации запасов...», 2007».

Разбивочно-привязочные работы включают в себя:

- перенесение на местность проектного положения магистральных и профилейных линий (включая поисковые и разведочные), разбивку на них пикетов;
- вынесение с проектных планов на местность точек заложения геологоразведочных выработок;

– определение координат (x, y, z) и вынесение на топооснову пройденных выработок.

Маркшейдерские работы в отличие от топографо-геодезических работ, выполняемых на стадиях региональных, поисковых и оценочных исследований, связаны с геодезическим обеспечением проектирования, строительства горнодобывающих предприятий и непосредственно самих работ по добыче полезного ископаемого.

На стадии «Разведка месторождения» задачами маркшейдерских служб являются: построение опорной геодезической сети; топографическая съемка земной поверхности; перенесение проектного расположения разведочных выработок в натуру; плано-высотная привязка всех пройденных разведочных выработок, а также естественных и искусственных обнажений горных пород. Маркшейдеры совместно с геологами составляют горную графическую документацию, отражающую объемы выполненных разведочных работ, ситуацию земной поверхности, форму и размеры тел полезных ископаемых, их качество, свойства вмещающих пород и участвуют в подсчете запасов.

При проектировании горнодобывающих предприятий маркшейдерские службы принимают непосредственное участие в проектно-изыскательских работах: определении границ размещения горных предприятий и систем разработки месторождений, составлении схем размещения зданий и сооружений, установлении мер по их охране от вредного влияния горных работ, определении календарных планов развития добычных работ; ведут подсчет промышленных запасов.

При строительстве горных предприятий маркшейдерские службы создают сеть опорных геодезических пунктов для переноса геометрических элементов проекта строительства в натуру, задают направление горных выработок, подготавливают горную графическую документацию, необходимую для эксплуатации месторождения. При эксплуатации месторождений маркшейдерская служба принимает непосредственное участие в разработке планов развития горных работ, регистрирует динамику производственного процесса горного предприятия, составляет чертежи горной графической документации. По мере продвижения фронта добычных работ (совместно с геологической службой, проводящей эксплуатационную разведку) составляет и систематически пополняет сводные графические документы (погоризонтные планы, разрезы, проекции), отражающие структуру месторождения, форму тел полезного ископаемого, его качество, свойства вмещающих пород; ведет учет движения промышленных запасов, потерь и разубоживания полезного ископаемого. Маркшейдерская служба изучает динамику сдвижения горных пород, горного давления, разрабатывает мероприятия по безопасному ведению эксплуатационных

работ, по охране зданий, сооружений, природных объектов от вредного влияния добычных работ и осуществляет контроль за их выполнением.

При ликвидации или консервации горных предприятий на маркшейдерскую службу возлагается обязанность определения полноты выемки полезного ископаемого и оформления чертежей горной графической документации на момент ликвидации/консервации.

Создание топографической основы геологических карт. Топографическая основа геологических карт существенно упрощена по сравнению с нагрузкой собственно топографических карт, что обусловлено объективной необходимостью. В противном случае геологические карты оказались бы перегруженными и трудночитаемыми. На них изображаются лишь наиболее значимые топографические элементы (рельеф, гидросеть, населенные пункты, пути сообщения и т. п.). Топографическая основа геологических карт должна соответствовать требованиям, изложенным в нормативных документах (инструкциях, методических рекомендациях) по их составлению и подготовке к изданию.

6.3. Геологическая документация горных выработок и скважин

Геологической документации *подвергаются все горные выработки и буровые скважины*. Материалы документации горных выработок и скважин представляют собой первичную геологическую документацию.

Объектами документации являются тела полезных ископаемых и горных пород, их состав, структурно-текстурные свойства, геологические границы, степень тектонического, метасоматического или гипергенного изменения горных пород, элементы залегания и размеры всех обнаруженных геологических образований; способы и виды изучения тел полезных ископаемых и горных пород (расположение мест отбора проб, образцов, геофизических измерений, их назначение и параметры); гидрогеологические и инженерно-геологические условия залегания залежей полезных ископаемых и тел горных пород.

Основные принципы ведения геологической документации:

1. Объективность.
2. Тщательность и полнота описания. *«Не записанное – не наблюдалось!»* (В. Н. Вебер).
3. Лаконичность.
4. Системность. Описание следует вести в последовательности, принятой на предприятии.
5. Разборчивость.

6. Оперативность. Документацию горных выработок и скважин следует вести сразу после завершения их проходки (в необходимых случаях и в процессе проходки).

Для улучшения качества документации на предприятиях и в организациях, ведущих геологические исследования, следует иметь тщательно продуманные формы ведения геологических документов.

6.3.1. Геологическая документация горных выработок

При проведении геологоразведочных работах проходятся разнообразные виды горных выработок, что определяется как их целевым назначением, так и геологическими, горнотехническими условиями залегания объектов вскрытия. Первичная геологическая документация горных выработок ведется сразу после завершения их проходки (иногда в процессе проходки).

В состав работ по документации горных выработок входят:

- подготовка выработки к осмотру (очистка от грязи, пыли), привязка и разметка на интервалы;
- осмотр стенок, кровли, забоя выработки, выяснение общей геологической ситуации;
- зарисовка, при необходимости – фотографирование;
- геологическое описание;
- отбор проб и образцов.

Геологическая документация горных выработок ведется в специальных журналах (книжках) на миллиметровой бумаге. Она включает текстовые записи и графическое изображение вскрываемых геологических образований с указанием местоположения и способов отбора образцов и проб. Журнал должен иметь номер, титульный лист, содержать условные обозначения и оглавление.

Неотъемлемой частью документации являются так называемые учетные записи. К ним относятся: название организации и участка работ; номер выработки и ее целевое назначение; топографическая привязка (по возможности, координаты); дата описания; даты начала и окончания проходки выработки; ее ориентировка (азимут и наклон), размеры (длина, сечение, объем); ФИО проходчиков или мастера (бригадира); ФИО и должность геолога, осуществившего документацию, его подпись. При использовании геофизических приборов приводятся сведения о типе использованной аппаратуры с указанием номеров приборов, датах их поверки или эталонирования. Не реже одного раза в

месяц документация проверяется и подписывается главным (старшим) геологом. Все журналы регистрируются в инвентарной книге. Заполненные журналы сдаются главному (старшему) геологу на хранение, который обеспечивает их сохранность.

Графическое изображение сопровождается кратким описанием. Наиболее распространенными масштабами геологической документации являются 1 : 25–1 : 100. Зарисовки отдельных участков, важных для понимания условий залегания и формирования тел полезных ископаемых или горных пород, делаются в более крупных масштабах (1 : 10, 1 : 5), вплоть до зарисовок в натуральную величину. Пополнение и исправление зарисовок и описаний разрешаются лишь при уточнении данных на основе дополнительных исследований.

Фотографирование повышает объективность документации. Однако фотография не может заменить зарисовку, так как зарисовка – это субъективное видение геологом реального природного объекта, в котором отсутствуют мелкие и несущественные детали. Фотографии нуждаются в дешифрировании. Все детали, имеющие значение для понимания условий залегания горных пород, залежей полезных ископаемых, их взаимоотношений, генезиса и т. п. и не показанные на зарисовках, следует отразить в описании.

Из всех важнейших разновидностей горных пород и полезного ископаемого должны быть отобраны и задокументированы образцы. Методика взятия проб, отбираемых с целью изучения качества полезного ископаемого, изложена в разделе 7 «Опробование». Кроме того, могут отбираться образцы и пробы для проведения специальных исследований. Методика их отбора и испытаний определяется целевым назначением и обычно отражена в специальных методических документах по конкретному виду исследования.

Размеры и геометрическая форма канав и траншей. Канавы и траншеи относятся к типу открытых горных выработок, наиболее широко применяемых для вскрытия залежей полезных ископаемых. Их основными геометрическими параметрами являются: глубина, длина по полотну (дну), ширина по полотну (дну), ширина по верху, а также углы откоса бортов (стенок).

Глубина разведочных канав обычно не превышает 2–3 м, иногда может достигать 5–6 м, а разведочных траншей – 10 м.

Длина канав и траншей может изменяться от 5 до 1 000 м. Магистральные канавы и траншеи могут иметь и большую длину. Их длина определяется размерами и ориентировкой относительно простирания вскрываемых объектов. Выработки, пройденные по простиранию, обычно имеют большую длину, а вкрест простирания – меньшую.

Ширина канав по полотну в большинстве случаев равна 0,6–1 м, а разводных траншей – 3,5–4 м. Ширина канав и траншей по верху (на уровне земной поверхности) устанавливается исходя из глубины выработки и принятых углов откоса бортов.

Устойчивый угол откоса бортов у сыпучих пород, лишенных сил сцепления, обычно равен углу естественного откоса, под которым понимают наибольший угол с горизонтальной плоскостью, образуемый откосом свободно насыпанной горной массы в состоянии равновесия. Этот угол зависит от крупности и формы частиц породы, а также ее водонасыщенности. У связных пород устойчивый угол откоса (θ) бортов можно принять $\theta = 45^\circ + \varphi/2$, где φ – угол внутреннего трения. Угол внутреннего трения для скальных трещиноватых пород всех типов (нарушенных и ненарушенных взрывом) обычно равен $38\text{--}42^\circ$; для несвязных и глинистых пород – 20° , для наносов – 38° , лёссов – $26\text{--}29^\circ$; каолиновых глин – 16° .

В зависимости от угла откоса бортов открытые горные выработки могут иметь различные формы поперечного сечения (рис. 6.1).

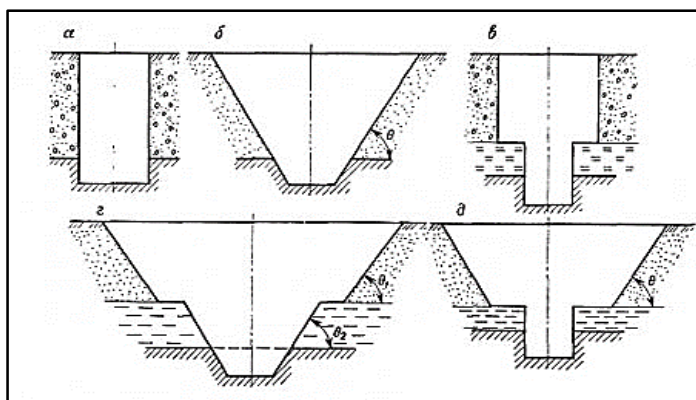


Рис. 6.1. Форма поперечного сечения канав:
а – прямоугольная; *б* – трапецевидная;
в – ступенчатая с вертикальными бортами;
г – с переменными углами откосов бортов;
д – с наклонными и вертикальными стенками

Прямоугольная (*а*) форма с отвесными бортами принимается в устойчивых породах или мерзлых грунтах. В талых грунтах такая форма может приниматься только при условии крепления выработки.

Наиболее распространенной является трапецевидная форма (*б*), которая не требует крепления даже в рыхлых породах. Угол откоса бортов в этих

случаях принимается равным углу естественного откоса. Глубина трапецевидных канав чаще не превышает 2 м.

Ступенчатую форму (в) обычно придают более глубоким канавам (более 2,5 м). Ширину подступа принимают равной 0,5 м. Такие канавы не крепят.

Ступенчатая канава с вертикальными бортами (г) применима только в мерзлых грунтах. Если наносы сложены горными породами, имеющими различную устойчивость, канаве придают переменный угол откоса борта (г). Такая форма канав применяется в основном в песчано-глинистых породах, склонных к оплыванию под действием атмосферных осадков.

Если наносные отложения имеют однородный состав, углы откоса бортов канавы принимаются одинаковым по всей их глубине, а углубка в коренные породы (до 0,5–1 м) делается с вертикальными стенками (д).

Траншеи, как правило, имеют трапецевидное сечение. Бортам придается устойчивый угол откоса, поскольку траншеи никогда не крепят.

Документация канав и траншей. После привязки, включающей в себя указание положения и ориентировки канавы в описании и на карте фактического материала, производятся ее разметка и обмер. Поверхность рельефа в местах проходки канавы и ее забой (дно) могут иметь неровности. На зарисовке они обязательно должны быть отражены. Пример схемы разметки и обмера канавы приведен на рис. 6.2.

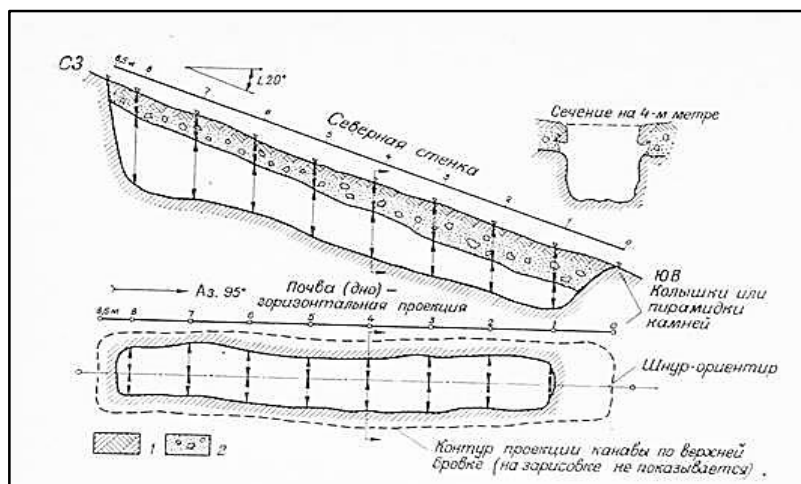


Рис. 6.2. Схема разметки и обмера канавы
(Методическое пособие..., вып. 14, 1984)

В зависимости от сложности геологического строения и целевого назначения возможны различные варианты зарисовок канав (рис. 6.3): *а* – обе стенки и забой, *б* – одна стенка и забой, *в* – одна стенка, *г* – только забой. Варианты *а*, *б*, *г* используются при поисках и разведке залежей, связанных с коренными породами. Вариант *в* обычно применяют при изучении рыхлых отложений (россыпи, пески и глины). Наиболее часто зарисовки канав делают способом сопряженной неполной развертки (вариант *б* на рис. 6.3). Пример такой зарисовки приведен на рис. 6.4.

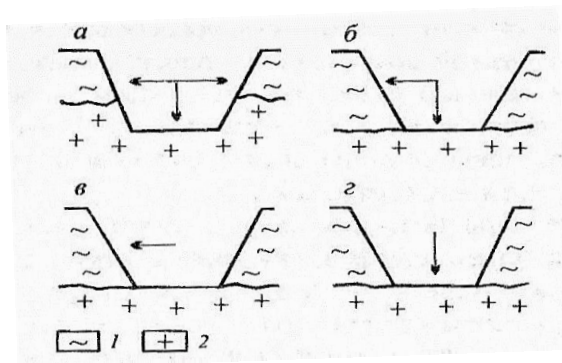


Рис. 6.3. Объекты документации канав
(по В. Н. Волкову, 2007):
1 – покровные отложения,
2 – коренные породы.
Пояснения в тексте

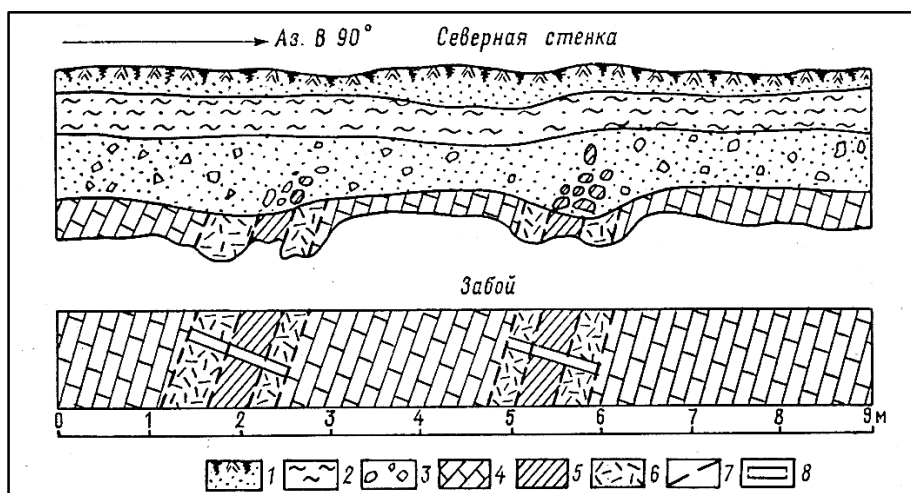


Рис. 6.4. Зарисовка канавы способом сопряженной неполной развертки
(Полевая геология..., 1989): 1 – почва; 2 – суглинки; 3 – элювий; 4 – известняки;
5 – кварцевые жилы; 6 – известняки окварцованные, раздробленные;
7 – разрывные нарушения; 8 – бороздовые пробы

Документация *траншей* ведется аналогично документации канав.

Документация шурфов. Подземные горные выработки обычно имеют стандартные сечения. Принято выделять три разновидности сечений: *в свету*, *вчерне* и *в проходке*. Сечение выработки *в свету* – это ее сечение, окуптуренное внутренними контурами крепи. Сечение *вчерне* – это сечение, окуптуренное наружными контурами крепи; оно равно: сечение *в свету* + *мощность крепи*. Сечение *в проходке* – это сечение, которым проходится данная выработка. Согласно ОСТ 41-02-206-81 стандартные площади поперечных сечений шурфов *в свету* могут быть равными 1,25 м² (1×1,25 м); 1,5 м² (1×1,5 м); 2 м² (1,25×1,60 м); 4 м² (1,6×2,5 м), реже больше. Шурфы сечением 1,25 и 1,5 м² проходятся до глубины 20 м, сечением 2,0 м² – до 30 м, сечением 4,0 м² – до 40 м.

Документация шурфа включает зарисовку в виде полной (рис. 6.5) или неполной разверток стенок на вертикальную плоскость, а также зарисовку забоя (дна). Зарисовка сопровождается геологическим описанием в соответствии с вышеприведенным планом.

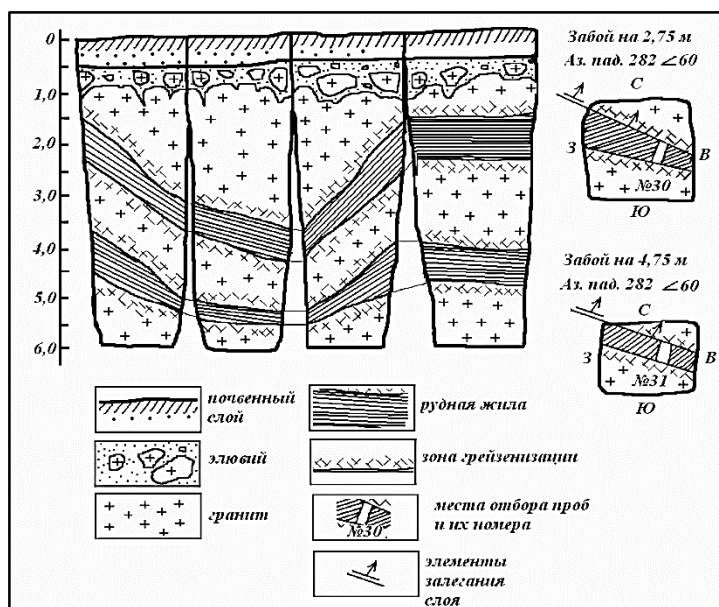


Рис. 6.5. Зарисовка шурфа способом полной развертки: 1 – почвенный слой; 2 – элювий; 3 – граниты; 4 – рудные жилы; 5 – зоны грейзенизации; 6 – места отбора проб и их номера; 7 – направление падения слоев

Горизонтальные подземные горные выработки по приемам документации разделяются на две группы: 1) выработки, пройденные по простиранию и 2) выработки, пройденные вкрест простирания тел полезных ископаемых.

В *штреках и штольнях*, ориентированных по простиранию залежей, документируются кровля и забои выработок в процессе их проходки. Зарисовка стенок производится при малой мощности тел полезных ископаемых и их горизонтальном залегании. Основное внимание обращается на геологические особенностям строения тел полезных ископаемых и их взаимоотношение с вмещающими горными породами. В зависимости от технических особенностей проходки выработок (в частности, длин интервалов уходки при применении буровзрывных работ) и сложности геологического строения зарисовки забоев делаются через 3–5 м. Позабойные зарисовки используются для пополнения и уточнения геологических планов. Примеры зарисовок штреков и штолен приведены на рис. 6.6 и 6.7.

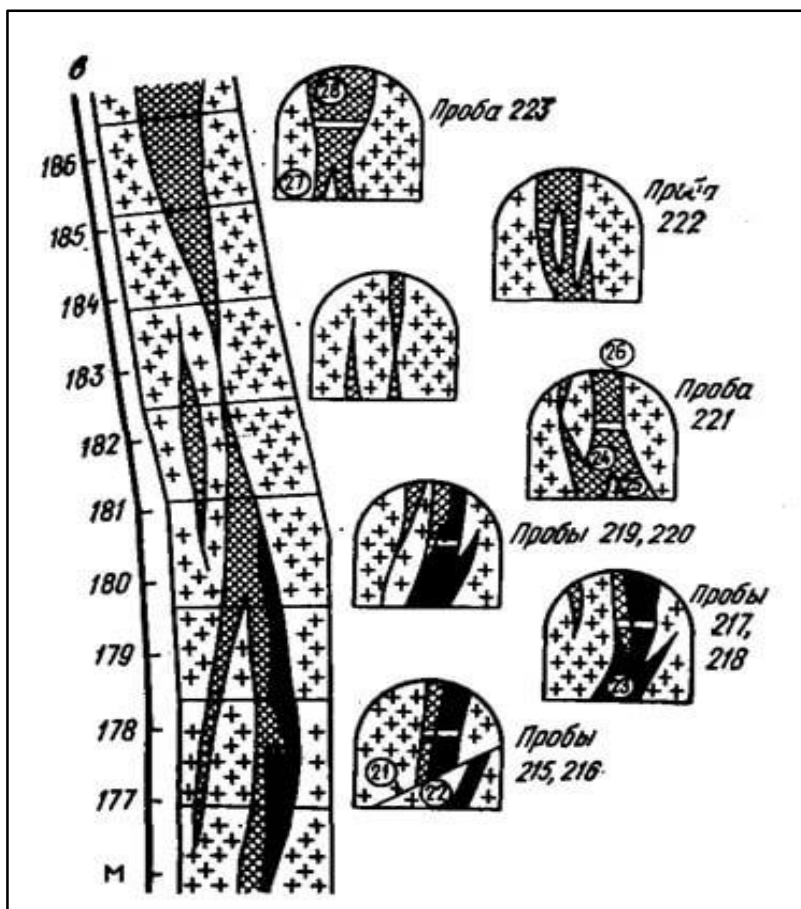


Рис. 6.6. Пример зарисовки кровли и забоев рудного штрека

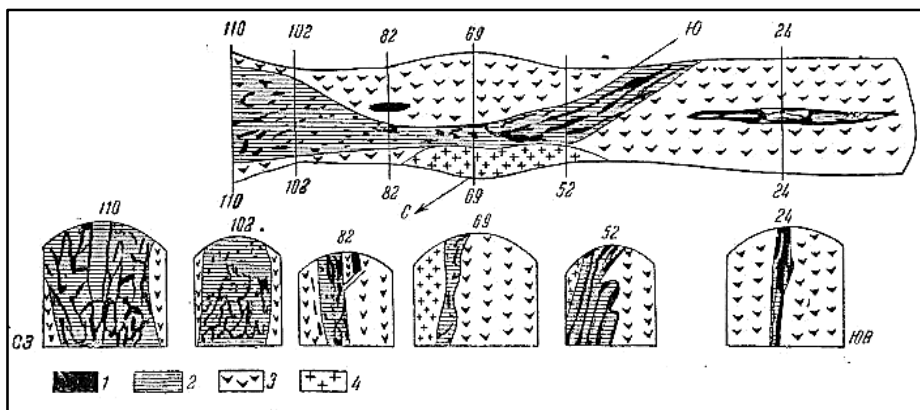


Рис. 6.7. Пример зарисовки кровли и забоев штольни

В *квершлагах, ортах, рассечках* обычно зарисовывается одна стенка, реже – две стенки или две стенки и кровля (развертка). При этом основное внимание уделяется особенностям строения тела полезного ископаемого в поперечном сечении.

Документация *вертикальных и наклонных горных выработок (шахты, восстающие, гезенки)* ведется путем зарисовки одной из стенок, пересекающих залежь полезного ископаемого. При сложном геологическом строении зарисовываются две противоположные стенки.

Для повышения качества геологической документации в практике геологоразведочных работ широко используются фотогеологические методы, которые включают в себя фотографирование геологических объектов с последующим геологическим дешифрированием фотоснимков. Зарисовки и отдешифрированные фотоснимки сопровождаются описанием.

6.3.2. Геологическая документация буровых скважин

В практике поисков, разведки и эксплуатации месторождений применяются разнообразные способы бурения скважин. Выбор способа бурения определяется целевым назначением скважины (включая стадию геологоразведочных работ), особенностями литолого-петрографического состава, текстурно-структурными, физико-механическими свойствами вскрываемых горных пород и руд, себестоимостью бурения и др.

По целевому назначению буровые скважины делятся на три группы: геологоразведочные, эксплуатационные и технические.

1. *Геологоразведочные скважины* бурятся с целью изучения геологического строения территорий и месторождений полезных ископаемых. Среди

них выделяются следующие разновидности: картировочные, поисковые, разведочные, гидрогеологические, инженерно-геологические, сейсмические, параметрические, структурные, опорные.

2. *Эксплуатационные скважины* бурятся для извлечения из недр жидких, газообразных и некоторых видов твердых полезных ископаемых. К ним относятся водозаборные, нефтяные и газовые скважины; скважины подземной газификации угля; скважины для добычи соляных рассолов; геотехнологические скважины, которые проходятся для разрушения горных пород, содержащих полезные ископаемые, или для нагнетания жидкостей, растворяющих полезное ископаемое с последующим выносом его на поверхность.

3. *Технические скважины* проходятся для решения задач, связанных со строительством и работой предприятий по добыче полезных ископаемых. Это – буровзрывные скважины, включая их разновидность – шпуры; стволы шурфов и шахт, пройденные путем бурения скважин большого диаметра; скважины для укрепления или замораживания грунтов; водопонизительные, дренажные, нагнетательные, водоспускные; вспомогательные (вентиляционные, для подачи сжатого воздуха и др.).

На стадиях региональных геологических исследований, поисков, оценки и разведки месторождений наиболее широко применяется колонковый способ бурения скважин с отбором керна, так как на этих стадиях необходимо, на сколько это возможно, получить ненарушенный материал, который позволял бы установить широкий спектр свойств горных пород и руд и условия их залегания. Знание этих свойств необходимо для будущего проектирования горнодобывающего предприятия и его эффективного функционирования. По этой причине к материалу, получаемому при бурении колонковых скважин – керну, предъявляются высокие требования. Выход керна в интервалах проходки полезного ископаемого должен быть не менее 70 % – на рудных месторождениях и не менее 80 % – на нерудных.

При изучении рыхлых полезных ископаемых (пески, песчано-гравийная смесь), а также россыпных месторождений, когда получение керна невозможно, используются другие способы бурения скважин: шнековое, ударно-канатное и др.

На стадии эксплуатационной разведки (преимущественно на сопровождающей подстадии) стремятся использовать буровые станки, применяемые при проходке буровзрывных скважин: шарошечного бурения – при открытом способе отработки, пневмоударного – при подземном. Это обусловлено тем, что проходка таких скважин отличается низкой себестоимостью. Пониженное качество геологической информации, получаемой по результатам изучения шлама отдельных скважин, компенсируется созданием достаточно густой

разведочной сети. Материалы по отдельным геологическим (эксплуатационным) блокам вследствие осреднения данных, определенных по таким скважинам, при отсутствии систематических погрешностей обычно являются достаточно надежными.

Первичную основу геологической документация буровых скважин составляют сведения, взятые из буровых журналов, которые ведут сменные буровые мастера. В журналах указываются:

- сведения о конструкции и проектном геологическом разрезе скважины, скоростях бурения и их изменениях на отдельных интервалах, случаях провалов бурового снаряда;
- длины пробуренных интервалов и количество извлеченного из них материала, результаты контрольных замеров глубины скважины и ее искривления;
- результаты наблюдений за уровнем подземных вод, случаи самоизлива вод и поглощения промывочной жидкости, выхода газов из скважины и др.

Документация скважин колонкового бурения

Отбор, укладка и этикетирование керна. Наиболее полную геологическую информацию дают скважины колонкового бурения, основным фактическим материалом которых является извлеченный из них керн. При изучении керна следует руководствоваться действующей «Инструкцией по отбору, документации..., 1994».

При извлечении керна из колонковой трубы необходимо обеспечить его сохранность и последовательность расположения пород, вскрытых скважиной.

Извлеченный керн после каждого рейса уходки отмывается от прилипших частиц пород и складывается в керновые ящики. Керн рыхлых и растворимых пород помещается в специальные лотки и осторожно очищается от загрязнений без промывки. Керновые ящики изготавливаются из дерева, пластика или других прочных материалов. Их стандартный размер: длина – 1 м, ширина – 0,5–0,6 м. Ящики должны иметь перегородки, разделяющие их на секции, и рукоятки на торцевых сторонах для удобства переноса. Высота стенок и ширина секций в ящиках должны соответствовать диаметру укладываемого керна.

Укладка керна осуществляется слева направо и сверху вниз. На кромках стенок и продольных перегородок слева направо наносятся стрелки, указывающие порядок укладки керна (рис. 6.8).

Керн следует укладывать плотно без промежутков между отдельными кусками, в строгом соответствии с расположением кусков по разрезу скважины. Мелкие кусочки, точное местоположение которых в интервале бурения не установлено, заворачиваются в плотную оберточную бумагу (или полиэтиленовую пленку) и кладутся в верхнюю часть интервала. Образцы разрушенного или сыпучего керна упаковываются в полиэтиленовые (или плотные матерчатые) мешочки и в том же порядке укладываются в секции керновых ящиков. Для керна полезных ископаемых, которые в наземных условиях быстро выветриваются или разлагаются, следует обеспечить особые условия хранения (запарафинировать, поместить в капсулы, герметические сосуды или емкости).

При отборе мелких продуктов бурения (шлама, мути) их следует упаковывать в полиэтиленовые (или плотные матерчатые) мешочки, размеры которых соответствуют размерам отделений керновых ящиков, и уложить в конце интервала бурения.

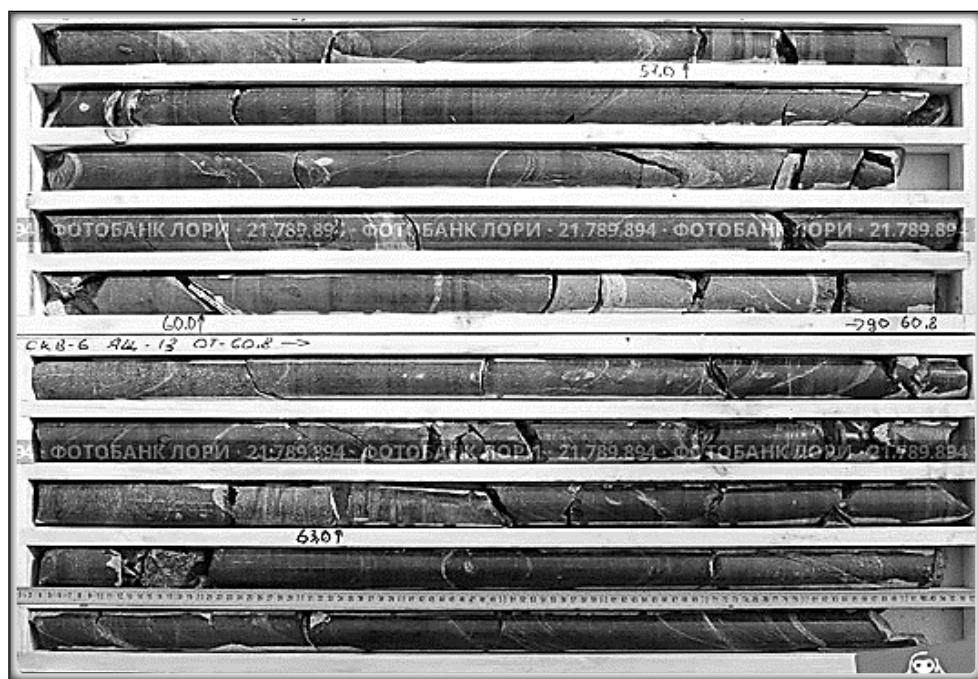


Рис. 6.8. Керн скважины в керновых ящиках (фото А. Зеленской)

В конце каждого интервала поднятого и уложенного в ящик керна с одного рейса бурения ставится деревянная бирка, разделяющая керн соседних интервалов. Местоположение бирки обозначается на перегородках ящика поперечным затесом и стрелкой, нанесенной карандашом. На бирке простым черным карандашом указываются интервал глубины (от–до, м) и длина пробуренного интервала в метрах с точностью до 0,01 м. К бирке прилагается этикетка на извлеченный керн. Бирка вкладывается также после собранного шлама, но в этом случае в этикетке вместо длины керна отмечается масса собранного шлама (в граммах).

Ящики, заполненные керном, должны быть закрыты плотными крышками и находиться в специально оборудованном помещении. На крышке и торце каждого ящика несмываемой краской указываются: наименование организации, производившей бурение, участок, номер скважины, номер ящика, глубина (от–до, м), год производства работ.

Не допускается хранение на буровой площадке более пяти заполненных ящиков (для медленно буримых пород) и более 10 (для быстро буримых пород). Для скважин, удаленных от кернохранилища и расположенных в труднодоступных участках, керн сохраняется на буровой площадке и вывозится по окончании бурения скважин.

После завершения полевой геологической документации и заполнения ящиками с керном помещения для его временного хранения керн в ящиках вывозится в кернохранилище. Поступившие в кернохранилище ящики с керном передаются ответственному работнику на хранение с регистрацией передачи в специальном журнале.

Геолого-техническая документация скважин и обработка керна. Геолого-техническая документация скважин производится в процессе их бурения. В состав документации входят следующие операции: составление полевого журнала, актов о заложении и закрытии (консервации) скважины, замеры искривления и контрольные замеры глубин; составление паспорта и акта о ликвидационном тампонировании. Геологическую документацию скважин проводят специалисты геологической службы предприятия-исполнителя работ, в обязанности которой входят:

- контроль за выходом керна, особенно по полезному ископаемому, а при его недостаточном выходе – своевременное информирование руководителя технической службы о необходимости принятия соответствующих мер (уменьшение длины порейсовых уходов, улучшение качества глинистого раствора, тампонирование скважины, применение двойных колонковых труб и т. п.);

- контроль за правильным и полным извлечением керна из колонковой трубы;

– уточнение и оценка выхода керна по полезному ископаемому линейным (при извлечении монолитного керна в виде столбиков и «плашек»), объемным или весовым (при извлечении раздробленного керна) способами с учетом результатов каротажа;

– систематическая проверка правильности укладки керна в керновые ящики, соответствие его этикетирования записям в полевом журнале и фактически извлеченному керну, что удостоверяется подписью в полевом журнале;

– проверка правильности ведения полевой геологической документации керна, полноты и качества его геологического описания;

– определение категории буримости горных пород;

– выборочный контроль замеров глубин скважин, уровней стояния воды, контроль за своевременным производством замеров искривлений скважин, проведением и качеством каротажных работ, определение целесообразности закрытия и ликвидации скважин;

– подготовка и ввод первичных данных бурения в ЭВМ для создания компьютерной базы данных;

– контроль за своевременным вывозом заполненных керновых ящиков с буровой площадки в кернаразборочное помещение.

Вся геолого-техническая документация должна быть закончена, проверена и подписана лицами, несущими ответственность за бурение и геологическое обслуживание скважины, до момента ее закрытия (консервации).

В кернаразборочном помещении производится обработка керна. Перед обработкой геолог должен уточнить геологическое положение скважины, определить характер вскрытых ею пород, наметить интервалы, подлежащие особо тщательному изучению и опробованию, установить порядок и степень сокращения или ликвидации керна.

Обработка керна включает его полное описание, опробование, отбор образцов на минералого-петрографические, палеонтологические, спектрметрические и другие виды исследований. Присвоенные пробам и образцам номера, а также глубина их отбора указываются в журнале полевой геологической документации. Отобранные образцы и пробы направляются в лаборатории для проведения специальных минералого-петрографических, палеонтологических, спектрохимических, химических и других видов исследований. При проведении геофизических исследований следует руководствоваться действующими нормативно-методическими документами Федерального агентства по недропользованию (ФА «Роснедра») в соответствии с видами выполняемых работ.

Результаты специальных исследований используются для уточнения наименований горных пород и их разновидностей, создания эталонной коллекции образцов и уточнения геологической легенды. Копии легенды должны находиться на всех участках работ для повседневного использования. Для всех типов пород создается шлифотека, характеризующая петрографический и литологический составы встречающихся разновидностей горных пород.

Непосредственно геологическая документация заключается в составлении зарисовок или фотографировании извлеченного керна, определении степени его трещиноватости, бурового шлама или буровой грязи (в зависимости от способа бурения) и их описании. Описание керна производится дважды: первичное описание ведется по рейсам уходки непосредственно после выемки керна из скважины; окончательное – осуществляется по интервалам разновидностей горных пород после завершения проходки скважины.

По результатам документации составляется предварительный геологический разрез по оси скважины. Геофизические исследования в скважине отражаются в виде каротажных диаграмм, которые совмещаются с геологическим разрезом по скважине. По результатам сопоставления всего фактического материала, зарегистрированного в буровом журнале, журнале геологической документации и диаграммах каротажа, составляется окончательный вариант геологического разреза (колонка скважины). В зависимости от глубины скважины и сложности геологического разреза масштаб колонки выбирается от 1 : 100 до 1 : 500. Геологическая колонка служит основой для составления паспорта скважины, в котором, помимо перечисленного, указываются также ее номер, координаты, углы и направление бурения.

После завершения обработки керна составляется геологическая колонка скважины по прилагаемой форме (табл. 6.2).

Сокращение керна и отбор образцов. По скважинам, пробуренным для детализации геологического строения, выявления источников водоснабжения, гидромелиоративной съемки, изучения экологических особенностей и т. п., допускается сокращение керна после его детального описания. На хранение оставляются лишь типовые образцы пробуренных пород и полностью керна, полученный по полезному ископаемому.

До сокращения керна следует проверить увязку построенной колонки скважины с геологическим разрезом, составленным по данным наземных исследований, опорным, картировочным и другим скважинам, а также обеспеченность геологического разреза шлифами из шлифотеки. При выявлении неувязки сокращение керна не допускается до получения надежного геологического разреза.

Таблица 6.2

Организация _____

Месторождение, участок работ _____

Геологическая колонка по скважине №

Масштаб 1 : _____

Бурение начато _____

Диаметр скважины _____ мм

Глубина скважины:

Тип станка _____

Бурение закончено _____

Глубина _____ м

по буровому журналу _____ м

Агрегат № _____

Документация

(от до)

по основным видам каротажа

Целевое назначение скважины

начата _____

_____ м

_____ - _____

закончена _____

принятая по активированию _____ м

По керну									По геофизическим данным	
Интервал, м		Углубка за рейс, м	Выход керна	Пробы			Геологи- ческая колонка	Цвет породы	Графики каротажа (заполняются геофизиками)	Литологическая колонка по каротажу
от	до			минерало- гические	грануломет- рические	керно- вые				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Окончание табл. 6.2

Принятый разрез										Примечание
Сводная геологическая колонка	Цвет породы	Пробы			Краткое описание породы	Геологический индекс	Образцы сокращенного керна	Мощность (истинная), м	Угол слоистости контактов с осью скважины	
		керновые	Гранулометрические	минералогические						
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

Составил _____
(должность, фамилия, инициалы, подпись)

Проверил _____
(должность, фамилия, инициалы, подпись)

Сокращение и ликвидация керна производятся только после его детального геологического описания, отбора необходимых образцов и проб.

При сокращении керна по каждой скважине составляется соответствующий акт, который прилагается к паспорту скважины.

Не допускается сокращение керна:

- полученного *по полезному ископаемому*;
- *по сверхглубоким, глубоким и опорным скважинам*, имеющим научное значение, характеризующим минералого-петрографический и литологический составы горных пород, их стратиграфические взаимоотношения и условия залегания;
- *по инженерно-геологическим скважинам, пробуренным для обоснования строительства особо важных объектов* (мостов, плотин, крупных шахт, атомных электростанций);
- *по картировочным и контрольно-градуировочным скважинам.*

При сокращении керна по каждому типовому прослою отбираются образцы размером 10–15 см, характеризующие его литолого-петрографические особенности, элементы залегания и т. п. При большой мощности толщ однородных пород образцы отбираются через 5–10 м внутри толщи и не менее, чем по одному образцу из ее кровли и подошвы.

На каждом образце сокращенного и полностью оставленного керна тушью на мазке белой эмалиевой краски указываются номер скважины, порядковый номера образца и глубина его отбора. Эти данные обязательно заносятся в полевой журнал геологической документации скважины. В нем, кроме того, указываются номера и глубины отбора образцов на различные исследования, а также номера отобранных проб и интервалы опробования керна.

На образцах с ясно выраженной слоистостью, сланцеватостью, зеркалами скольжения эмалью наносится стрелка, направленная острием к забою скважины.

Обработанный и отобранный для хранения керн укладывается в порядке номеров в керновые ящики. На кромках кернового ящика против каждого образца указывается его номер.

Керн, направляемый на хранение в кернохранилище, сопровождается реестром коллекции образцов (шлихов), фиксируемом в книге регистрации коллекций.

Хранение и ликвидация керна. Особенности хранения и ликвидации керна обусловлены целевым назначением скважин, в соответствии с которым они подразделяются на три категории, определяющие объемы керна, подлежащего долговременному хранению:

1) скважины, имеющие большое научное и производственное значение (глубокие и сверхглубокие, опорные и приравненные к опорным, параметрические и инженерно-геологические – на особо важных объектах); весь керн этих скважин подлежит долговременному хранению;

2) скважины, долговременное хранение керна которых зависит от результативности и ценности информации, полученной в процессе бурения и проведения исследований, а также скважины, значение которых определяется целевым назначением поисково-разведочных работ, геологической изученностью и сложностью геологического строения района;

3) скважины, керн которых на долговременное хранение может быть оставлен в сокращенном виде (геофизические, а также скважины второй категории, не имеющие принципиального значения на данном и последующем этапах исследований или не достигшие положительных результатов).

Керн поисковых и картировочных скважин подлежит хранению до утраты своего значения в результате проведения более детальных работ.

Для обеспечения сохранности керна и возможности его просмотра кернохранилища должны быть оборудованы специальными стеллажами, которые устанавливаются таким образом, чтобы обеспечить свободный доступ к кернам ящикам.

Размещение керна на стеллажах производится в порядке нумерации ящиков по каждой скважине. Для удобства отыскания керна торец ящиков с маркировкой должен быть обращен к проходу между стеллажами. Ящики с керном по каждой скважине укладываются на стеллажах таким образом, чтобы при необходимости было удобно извлечь их из кернохранилища. На торец стеллажа со стороны прохода прикрепляется дощечка с указанием номера коллекции, бурового участка, номера скважины и года ее бурения.

Керн по законченным параметрическим, картировочным, поисково-разведочным скважинам после его обработки, включающей документацию, опробование, отбор образцов и т. п., передается в стационарные хранилища при органах ФА «Роснедра» или на базовые хранилища производителя работ. До передачи керна в стационарные хранилища ответственность за обеспечение надлежащих условий его хранения несет производитель работ (недропользователь).

Изъятие керна, находящегося на хранении в кернохранилище, производится только с разрешения территориальных органов ФА «Роснедра», оформляется специальным актом и отмечается в примечании против соответствующей скважины в каталоге хранения. Эти акты должны находиться при каталогах хранения керна.

По месторождениям, запасы которых подлежат государственной экспертизе, керн разведочных скважин хранится до ее завершения. По месторождениям, на которых работы ограничиваются лишь геологическим изучением и подсчет

запасов не производится, керн скважин хранится до истечения срока действия лицензии на геологическое изучение (поиски, оценочные работы), после чего вопрос о целесообразности и условиях его дальнейшего хранения (использования) решается территориальными органами ФА «Роснедра».

По месторождениям, на которых после проведения государственной экспертизы геологоразведочные работы будут продолжаться на флангах и глубоких горизонтах, должен сохраняться керн скважин, наиболее полно характеризующий общее геологическое строение месторождения. Керн таких скважин хранится до вскрытия флангов и глубоких горизонтов горными выработками. При выдаче лицензии на такое месторождение керн скважин передается на временное хранение недропользователю в порядке, регулируемом законодательством и отраслевыми нормативными документами.

В случае досрочного прекращения геологоразведочных работ недропользователь обязан согласовать с территориальными органами ФА «Роснедра» порядок дальнейшего хранения керна и передачи его в стационарные хранилища.

После завершения геологического изучения участков недр и проведения государственной экспертизы запасов месторождения керн или образцы сокращенного керна по скважинам могут быть ликвидированы за исключением:

- керна опорных скважин, представляющих научный и производственный интересы;
- эталонных образцов всех разновидностей пород и руд данного объекта;
- керна полезного ископаемого в количестве, необходимом для дополнительных технологических и других лабораторных исследований.

Перечень скважин, керн которых подлежит дальнейшему хранению, а также порядок отбора типичных образцов пород и руд определяются территориальными органами ФА «Роснедра» по представлению недропользователя.

Сроки хранения керна по скважинам, пробуренным для специальных целей (структурные, картировочные, гидрогеологические, инженерно-геологические и др.), устанавливаются территориальными органами ФА «Роснедра» в каждом конкретном случае в зависимости от полноты решения задач, поставленных перед бурением.

С целью своевременного освобождения кернахранилища от керна, потерявшего свое значение, ежегодно проводится его инвентаризация. Результаты инвентаризации и предложения о ликвидации потерявшего значение керна производитель работ должен представить в территориальные органы ФА «Роснедра». Решение о ликвидации керна принимается комиссией территориального органа ФА «Роснедра», которая обязана проверить наличие и качество геолого-технической документации по ликвидируемому керну.

Ликвидация керна по каждой скважине оформляется специальным актом. В книге регистрации керна об этом делается соответствующая запись. Контроль за правильной и своевременной ликвидацией керна возлагается на геологическую службу недропользователя.

Документация скважин бескернового бурения

Как отмечено выше в практике геологоразведочных работ, помимо скважин колонкового бурения с отбором керна, применяются и скважины бескернового бурения. Причем такие скважины наиболее широко используются на стадии эксплуатационной разведки (сопровождающая подстадия). Это обусловлено тем, что станки бескернового бурения, по сравнению со станками колонкового бурения, в целом отличаются повышенной производительностью и более низкой себестоимостью бурения. А в условиях, когда объемы работ по эксплуатационной разведке существенно возрастают, это может давать существенный экономический эффект.

В отечественной практике наибольшее распространение получили следующие способы бескернового бурения: шнековое, ударно-канатное, шарошечное и ударно-вращательное.

Документация скважин шнекового бурения

Шнековое бурение – вид вращательного бурения, при котором выбуриваемая порода поступает от забоя к устью буровой скважины с помощью шнека (бурильной трубы с навитой на ней стальной лентой). На нижнем конце шнек несет буровой наконечник. Процесс бурения шнеками включает в себя разрушение породы на забое, которое в зависимости от ее физико-механических свойств представляет собой резание или разрыхление и транспортировку продуктов разрушения, поступающих на шнековый транспортер, к устью скважины. Инструмент для шнекового бурения состоит из долота и шнековой колонны. Конструкции долот для шнекового бурения довольно разнообразны. Наибольшее применение получили двух- и трехперые долота со ступенчатой режущей кромкой, армированной резцами из твердых сплавов (рис. 6.9).

Шнековое бурение применяется для проходки скважин глубиной до 50 м (реже до 100–120 м), диаметром от 60 до 600–800 мм в мягких и рыхлых породах, а также в породах средней твердости (песчаных, песчано-глинистых, которые могут содержать мелкую гальку, щебень и некоторые другие породы не выше VI категории буримости). Преимуществом шнекового бурения являются высокие скорости (до 100–300 м/смену) и простота организации работ.

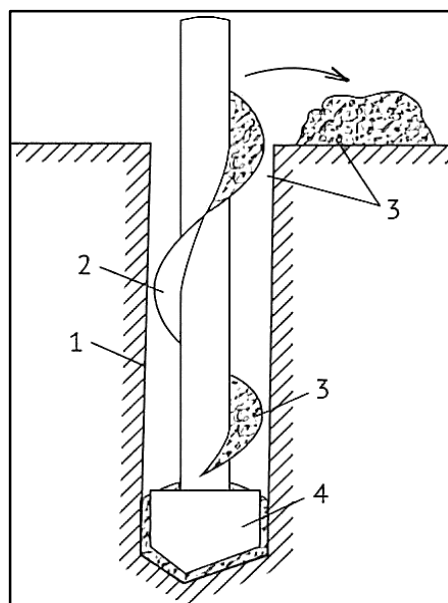


Рис. 6.9. Схема транспортировки выбуриваемой горной породы при шнековом бурении:
1 – скважина; 2 – реборды;
3 – разбуриваемая горная порода;
4 – долото

Шнековое бурение используется при разведке некоторых видов твердых полезных ископаемых (строительные материалы, россыпи тяжелых металлов, никеленосные и бокситоносные латеритные коры выветривания и др.). Более широко этот способ применяется в сейсморазведке (для создания взрывных скважин), при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях, а также при бурении эксплуатационных скважин на воду. К материалам документации скважин шарошечного бурения, проходимых при оценочно-разведочных работах, предъявляются повышенные требования.

Разрушаемая при шнековом бурении порода в результате трения о лопасти шнеков и стенки скважины, а также в зависимости от физико-механических свойств, условий ее залегания, применяемого инструмента и режима бурения выносится на дневную поверхность в различном состоянии по виду, конфигурации и размеру. Отбираемые при документации образцы в целом являются достаточно представительными для того, чтобы иметь необходимые сведения о свойствах вскрытом скважиной геологического разреза. Густота отбора образцов и их размеры определяются изменчивостью геологических свойств, поставленными задачами, методикой и комплексом необходимых лабораторных исследований. При геологической документации обязательно должна быть обеспечена приемлемая точность привязки отбираемых образцов по глубине скважины.

Геологическая документация при бурении шнеками может производиться:

1) при непрерывной углубке: по керну, выносимому лопастями бурового снаряда, с уточнением глубины отбора образцов путем введения корреляционных коэффициентов;

2) при поинтервальной проходке: по керну, подаваемому на поверхность холостым вращением колонны шнека, с привязкой отбираемых образцов породы к пробуренному интервалу;

3) при поинтервальной углубке скважины с последующим подъемом бурового снаряда: по образцам породы, отобраным с лопастей шнека, поднятого на поверхность;

4) по образцам пород, отбираемых колонковыми шнеками и грунтоносами.

В процессе транспортировки комки породы перемешиваются, трутся о стенки скважины и покрываются тонкой оболочкой инородного материала толщиной 1–2 мм. Поэтому в первых двух случаях особое внимание следует обращать не на внешний вид взятого образца, а на изучение его внутреннего строения.

Геологическая документация при шнековом бурении с непрерывной углубкой. Метод применяется при бурении горных пород, лежащих выше уровня грунтовых вод. Отбор образцов производится не из перемешанной, а из однородной породы. Когда слои пород имеют существенные различия по показателях буримости, границы между ними могут быть обнаружены путем «механического каротажа» (фиксации момента резкого изменения скорости бурения, усилия подачи и крутящего момента).

Границы между слоями могут быть уточнены путем введения корреляционных коэффициентов (*не путать с коэффициентами корреляции!*), учитывающих время запаздывания выдачи шнеками породы на поверхность:

$$H_{\text{и}} = H_{\text{ф}} K,$$

где $H_{\text{и}}$ – «истинная» глубина залегания; $H_{\text{ф}}$ – «фиктивная» глубина залегания; K – корреляционный коэффициент. Коэффициент K зависит от типа горной породы, диаметра шнека и частоты его вращения. С увеличением частоты вращения и диаметра шнеков (табл. 6.3) наблюдается рост коэффициента (кроме лессовидных пород и песков).

Методика геологической документации шнековых скважин при непрерывной углубке позволяет определить истинные глубины границ слоев с точностью до $\pm 0,2$ – $0,3$ м. При глубинах скважин более 20 м точность установления границ слоев снижается до $\pm 0,3$ – $0,4$ м. Если приведенная точность привязки не отвечает задачам геологических исследований, следует перейти на бурение с поинтервальной углубкой, бурение рейсами с отбором породы с лопастей шнеков или на взятие проб с помощью грунтоносов.

Таблица 6.3

Значения корреляционных коэффициентов, K

Тип горной породы	Диаметр шнека	
	135 мм	180 мм
	Коэффициент K	
Глина	0,82	0,87
Суглинок	0,86	0,91
Суглинок лессовидный	0,95	0,87
Супесь, песок средне- и мелкозернистый	0,76	0,77
Песчано-гравийные отложения	—	0,85

Примечание. Приведенные значения коэффициентов K справедливы: 1) для частоты вращения 115 мин^{-1} ; для частоты 70 мин^{-1} K уменьшается на 0,03, а для частоты 190 мин^{-1} K увеличивается на 0,02; 2) для скважин глубиной до 20 м; при больших глубинах значение K уменьшается в среднем на 0,02.

Геологическая документация при шнековом бурении с поинтервальной углубкой. Точность определения положения геолого-литологических границ пород при поинтервальной углубке несколько выше, чем при непрерывной, и зависит от длины интервала углубки и частоты отбора проб (образцов) породы.

С уменьшением интервала углубки и увеличением числа проб точность геологической документации повышается. Интервал углубки обычно соответствует длине шнека (1,3–1,5, реже 3 м), но не менее 0,5–0,7 м; при меньших значениях поинтервальной углубки количество выбуренной породы уменьшается и оказывается недостаточно представительным. Частота отбора проб обычно принимается равной одной пробе на каждые 0,5–1,0 м пробуренного интервала. Точность привязки отбираемых образцов по глубине скважины при данной методике составляет не более 0,1–0,2 м; при глубинах более 20 м точность снижается.

В целом бурение с поинтервальной углубкой менее производительно, чем при непрерывной углубке, но при этом достигается более точное установление геолого-литологических границ слоев.

Геологическая документация при шнековом бурении по образцам пород, отбираемым с лопастей шнека. Сущность метода заключается в том, что после проходки заданного интервала производится подъем шнековой колонны, и с лопастей шнеков отбираются образцы породы для геологической документации. Метод применяется в случаях, когда порода плохо транспортируется шнеками на поверхность.

Бурение, как правило, ведется комбинированной колонной: внизу – шнеки с долотом, сверху – гладкие бурильные трубы. Длина шнеков должна быть не менее чем в 2,5 раза больше длины интервала бурения. Интервал бурения обычно составляет 1,0–2,0 м. Процесс бурения осуществляется при наименьшей частоте вращения при плавной подаче инструмента с целью меньшего перемешивания породы на спиралях шнеков. При отборе образцов породы с лопастей шнеков необходимо следить, чтобы в пробе не оказалась порода, попавшая на лопасти со стенок скважины при спуско-подъеме или оставшаяся от предыдущего рейса.

По породам I–III категорий по буримости бурение заданного интервала может вестись долотом змеевикового типа или шнеком без долота. Бурение при этом ведется с периодическим отрывом инструмента от забоя во избежание заклинивания шнеков. Интервал бурения этим способом не превышает 0,5–1,0 м. Образцы пород, отобранные таким способом, имеют незначительные изменения и представлены крупными кусками пород, срезанных с забоя. Такие образцы позволяют определить тип породы, ее строение, состав включений и могут служить надежным материалом для установления ее механических свойств, плотности и естественной влажности. Погрешность привязки отобранных образцов по глубине скважины при описываемом способе составляет $\pm 0,2\text{--}0,3$ м.

Геологическая документация при шнековом бурении с отбором проб магматическими (колонковыми) шнеками и грунтоносами. Метод применяется при необходимости отбора качественных образцов для проведения специальных лабораторных исследований и точной привязки их по глубине. Методика пробоотбора обычно подробно излагается в нормативных документах по конкретным видам исследований. Для обеспечения требуемой точности привязки образцов по глубине интервал бурения шнеками не должен превышать 1,0–1,5 м. Применение этого способа отбора образцов требует дополнительных затрат времени на спускоподъемные операции.

Документация скважин ударно-канатного бурения

В настоящее время при поисках и разведке месторождений твердых полезных ископаемых бурение скважин ударно-канатным способом применяется лишь на россыпных месторождениях и на месторождениях строительных материалов, продуктивные толщи которых сложены обломочными горными породами: песками, песчано-гравийными, гравийно-галечными осадками. Средняя глубина скважин составляет 50–100 м, но может достигать и 300 м; диаметр – 15–85 см.

В процессе бурения разрушение горных пород осуществляется с помощью снаряда, который состоит из долота (плоского с клинообразным лезвием – для мягких, двутаврового – для вязких, крестового и пирамидального – для твердых пород), ударной штанги, ножниц и канатного замка, закрепляющего конец каната (рис. 6.10).

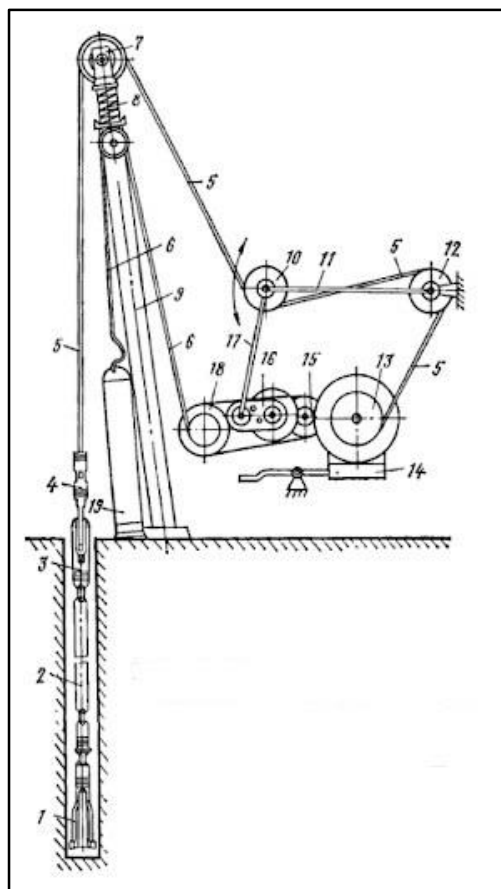


Рис. 6.10. Схема работы станка ударно-канатного бурения: 1 – долото; 2 – ударная штанга; 3 – раздвижная штанга; 4 – канатный замок; 5 – инструментальный канат; 6 – желоночный канат; 7 – ролик мачты; 8 – амортизатор; 9 – мачта; 10 – оттяжной ролик; 11 – балансирующая рама; 12 – направляющий ролик; 13 – инструментальная лебедка; 14 – тормоз; 15 – главный вал; 16 – кривошип; 17 – шатун; 18 – желоночная лебедка; 19 – желонка

Снаряд весит порядка 500–2 500 кг и сбрасывается с высоты 0,3–1,0 м с частотой 45–60 ударов в минуту. При подъеме снаряд поворачивается на угол 20–50° для того, чтобы обеспечить эффективную обработку всей площади забоя. Если грунт сухой, его увлажняют, подливая на забой скважины воду. Образовавшаяся смесь шлама и воды извлекается с помощью желонки, обычно после проходки интервала длиной 0,2–0,6 м.

К числу основных достоинств ударно-канатного бурения можно отнести его относительную простоту, возможность применения в различных природно-климатических условиях, отсутствие ограничений по температуре грунта. Недостатками являются: большой объем трудозатрат, энергоемкость, низкая производительность и высокая стоимость работ.

В 1920–1960-е годы станки ударно-канатного бурения широко использовались для проходки технологических (взрывных) скважин на карьерах. Однако низкая производительность станков и высокая стоимость работ привели к тому, что станки ударно-канатного бурения были заменены станками шарошечного и пневмоударного бурения.

7. ОПРОБОВАНИЕ

7.1. Общие положения

Опробование – это совокупность операций, проводимых с целью определения качества полезного ископаемого. Качество полезного ископаемого – комплекс свойств, определяющих пригодность и экономическую целесообразность его промышленного использования.

Проба – это некоторое количество полезного ископаемого или вмещающей горной породы, определенным образом взятое из обнажения, горной выработки или скважины. Назначение опробования заключается в том, чтобы по совокупности дискретно отобранных проб оценить качество некоторого объема полезного ископаемого. Особенностью опробования является несоизмеримость объема проб с объемом (массой) опробуемого объекта. Важнейшими характеристиками проб являются их геометрия и геометрическая база.

Геометрия пробы – это ее форма, объем, ориентировка относительно элементов строения тела полезного ископаемого.

Геометрическая база – это сфера влияния, на которую можно распространить данные конкретной пробы. Она зависит от геометрии пробы и текстурно-структурных свойств полезного ископаемого. При прочих равных условиях при одной и той же геометрии сфера влияния индивидуальной пробы в мелкозернистых рудах больше, а в рудах с резко дискретным распределением полезных минералов (гигантозернистые руды, руды золота, платины и т.п.) – меньше.

К метрологическим характеристикам проб относятся надежность и точность.

Надежной считается проба, которая при данной геометрической базе гарантирует возможность определения исследуемого свойства и уверенную экстраполяцию результатов на прилегающий к пробе объем полезного ископаемого.

При этом опробование считается достоверным, если отсутствуют систематические погрешности, а случайные погрешности не превышают допустимых значений.

Точность пробы – это интегральная оценка случайной и систематической погрешностей при ее отборе, обработке и испытании.

Пространственное размещение проб в опробуемом объеме полезного ископаемого представляет собой *систему опробования*. Важнейшей характеристикой системы опробования является ее *представительность*, под которой понимают погрешность аппроксимации модели пространственного размещения изучаемого свойства.

Материалы опробования используются при решении следующих задач:

- оконтуривание залежей полезных ископаемых, сортов и типов руд;
- определение средних содержаний компонентов в подсчетных блоках при подсчете запасов;
- определение физико-механических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород;
- выбор способов переработки полезного ископаемого при обогащении и металлургическом переделе;
- выявление закономерностей пространственного распределения компонентов, технологических типов и сортов руд в залежах полезных ископаемых, определение генезиса месторождения;
- проектирование горнодобывающих предприятий;
- планирование добычи и оперативное руководство эксплуатационными работами;
- контроль за полнотой отработки тел полезных ископаемых;
- определение потерь и разубоживания полезного ископаемого.

Любой вид опробования включает в себя проведение следующих последовательных операций: отбор, подготовка (обработка) и испытание (анализ) проб. Исключение составляет геофизическое опробование, при реализации которого некоторые операции могут быть заменены измерением физических параметров объектов опробования с последующей их интерпретацией.

В зависимости от свойств, устанавливаемых при опробовании, принято выделять его *следующие виды: химическое, техническое, минералогическое и технологическое*. Многие исследователи в качестве самостоятельного выделяют геофизический вид опробования, что представляется не вполне корректным: геофизические методы при опробовании используются лишь как косвенные способы определения химических, технических, минералогических или технологических свойств.

В зависимости от функционального назначения и с учетом стадийности геологоразведочных работ целесообразно различать: 1) *прогнозно-поисковое*, 2) *оценочно-разведочное*, 3) *эксплуатационное* и 4) *товарное* типы опробования. Перечисленные типы опробования даже для одного и того же объекта в зависимости от стадии геологоразведочных работ могут существенно отличаться системами и способами отбора проб; подготовкой к испытаниям; методами испытаний; надежностью, точностью и достоверностью определяемых свойств и др. Причины этого различия обусловлены как решаемыми задачами, так и экономической целесообразностью.

Прогнозно-поисковое опробование проводится на стадии регионального геологического изучения недр и стадии поисковых работ. Оно предполагает,

особенно при поисках рудных месторождений, отбор большого количества геохимических проб (химический вид опробования). При поисках по первичным ореолам рассеяния пробы отбираются из коренных пород преимущественно штучным, реже бороздовым, способом. При поисках по вторичным ореолам рассеяния опробованию подвергаются элювий, делювий, пролювий, аллювий, почвенный и подпочвенный воздух, органы растений, подземные и поверхностные воды и т. п. Пункты отбора проб часто размещаются независимо от особенностей залегания коренных пород и зависят от ландшафтных особенностей территории.

При поисках шлиховым методом (минералогический вид опробования) пробы отбираются преимущественно из аллювиальных отложений, вскрытых с помощью закопашек, шурфов или скважин.

Прогнозно-поисковое опробование ведется, в известной степени, «тенденциозно». Объектами опробования являются места, где заведомо могут создаваться повышенные концентрации элементов-индикаторов оруденения. Это могут быть так называемые представительные горизонты рыхлых отложений; виды и органы растений, в которых указанные элементы дают повышенные концентрации; родники и верховья малых рек; приплотиковые части аллювия, участки замедления течения рек, расширения русла, ниже крутых поворотов, порогов, перекатов, в головах кос и т. п. При обработке проб, отобранных из рыхлых отложений для последующего химического анализа, крупная фракция (более 0,5–1,0 мм) выбрасывается в отвал. Это приводит к тому, что обработанная проба по сравнению с необработанной имеет более высокие содержания элементов-индикаторов, так как последние склонны создавать повышенные концентрации в мелких фракциях. Указанная тенденциозность методики опробования играет положительную роль, так как приводит к синергетическому эффекту, что позволяет выявлять даже слабые геохимические и минералогические аномалии, а, следовательно, и проявления полезных ископаемых.

При проведении опробовательских работ на стадии «Региональное геологическое изучение недр» следует руководствоваться «Методическими рекомендациями по опробованию...», 2019».

Химический анализ проб делается в основном дешевыми спектральными или ядернофизическими методами пониженных категорий точности (IV и V категорий, см. табл. 7.7). По указанным причинам достоверность содержаний компонентов, полученных по геохимическим пробам, не соответствует требованиям, предъявляемым к пробам, используемым при подсчете запасов. Анализы повышенной точности (I–III категории) выполняются только при проведении контрольных, опытно-методических и научно-исследовательских работ.

Прямое техническое и технологическое опробование с отбором и испытанием проб, как правило, не производится. В случае необходимости технические и технологические параметры устанавливаются по принципу аналогии.

Оценочно-разведочное опробование проводится на стадиях: оценка месторождения, разведка месторождения (включая доразведку), а также при выполнении работ первой подстадии эксплуатационной разведки (опережающая эксплуатационная разведка). Система опробования на этих стадиях подчинена системе разведки, поскольку опробованию подвергаются разведочные горные выработки и скважины, на заложение которых влияет не только изменчивость свойств, определяемых при опробовании. При этом система разведки создается таким образом, чтобы разведочные пересечения последующих стадий геологоразведочных работ органически вписывались в систему предшествующих.

Отбор проб для определения химического состава полезного ископаемого и околорудных вмещающих пород производится наиболее надежными способами: преимущественно бороздовым и керновым. Применяемые методы и способы отбора, обработки и анализа проб на всех стадиях должны обеспечивать получение соизмеримых результатов, имеющих одинаковую степень достоверности. Химический анализ проб, участвующих в подсчете запасов, проводится методами, обеспечивающими точность не ниже III категории.

На всех стадиях обязательно используются прямые методы определения химических, минералогических, технических и технологических свойств. Однако если имеются объективные предпосылки определения указанных свойств косвенными методами, применяются и косвенные.

На подстадии опережающей эксплуатационной разведки могут применяться методы, обладающие меньшей степенью достоверности; например, бурятся колонковые скважины меньшего, чем на предшествующих стадиях, диаметра. Однако в любом случае переход на иные способы изучения качества полезного ископаемого должен быть экспериментально обоснован.

Эксплуатационное опробование проводится при геологоразведочных работах подстадии, называемой сопровождающая эксплуатационная разведка. Методика эксплуатационного опробования в значительной степени подчинена принятым на месторождении способу и системе разработки. Опробованию подвергаются горные выработки и скважины технологического назначения. При проходке горных выработок используются шпуровой, задииковый, валовый, горстьевой (вычерпывания) способы опробования, в пройденных – бороздовый, точечный.

Однако основной объем работ приходится на опробование буровзрывных скважин, проходимых сплошным забоем. Их опробование ведется по шламу или геофизическими методами. Плотность сети буровзрывных скважин чрезвычайно велика, поэтому все их опробовать и геологически, и экономически нецелесообразно. Оптимальная сеть опробуемых скважин устанавливается экспериментально.

Шламовые и шпуровые пробы отличаются пониженной достоверностью пробоотбора. Однако это не препятствует их использованию на рассматриваемой подстанции, поскольку их отбирается большое количество. Расчеты средних содержаний компонентов по отдельным добычным блокам за счет осреднения при отсутствии систематических погрешностей дают вполне удовлетворительные результаты.

Достоверность полученных на предшествующих стадиях и подстанции опережающей эксплуатационной разведки результатов минералогического, технического и технологического опробования обычно достаточна для текущего планирования добычных работ. Поэтому они проводятся лишь по мере необходимости, в частности, это может быть выявлено путем сопоставления данных разведки и разработки.

Товарное опробование проводится с целью определения качества минерального сырья или продуктов его первичной переработки для взаиморасчетов между горнодобывающим предприятием и потребителем. В зависимости от требований к качеству полезного ископаемого, устанавливаемых потребителем, при товарном опробовании могут определяться химические, технические, минералогические и/или технологические свойства.

Товарному опробованию подвергаются измельченные и перемешанные массы минерального вещества, находящиеся в момент опробования или в статическом (в отвалах, штабелях, самосвалах, вагонах, вагонетках), или динамическом состоянии (на лентах транспортеров или в текущей пульпе).

В первом случае пробы отбираются горстьевым способом или способом вычерпывания. Во втором – способом отсечки: через определенные интервалы времени с ленты транспортера или из потока пульпы с помощью механических пробоотборников от движущегося материала отсекается необходимое для проведения испытаний количество вещества, которое и представляет собой пробу.

Способы определения качественных характеристик добытого полезного ископаемого должны быть максимально экспрессными, так как процесс переработки минерального сырья часто является непрерывным или осуществляется через относительно небольшие временные интервалы.

7.2. Способы отбора проб и условия их применения

Объектами опробования являются естественные обнажения, горные выработки и скважины. Выбор способа отбора и геометрии определяется целевым назначением проб, условиями залегания залежи полезного ископаемого, особенностями ее внутреннего строения, типом опробуемой выработки и особенностями ее проходки. Заметим, что отбор проб из обнажений и горных выработок принципиальных различий не имеет.

7.2.1. Отбор проб в горных выработках

Перед опробованием горная выработка должна быть задокументирована. Это позволяет осуществить разметку интервалов опробования с учетом строения залежи полезного ископаемого, природных типов руд, литолого-петрографического состава, физического состояния и т. п. Положение пунктов отбора проб обязательно фиксируется в первичной документации (на зарисовках и в описаниях). Обязательным требованием при отборе проб в горных выработках являются предварительное выравнивание поверхности, с которой предполагается отобрать пробу, а также ее очистка (промывка) от загрязняющего материала. Непосредственно перед пробоотбором на подошву выработки должен быть постелен брезентовый (резиновый) коврик или листовая жесть.

Наиболее распространенными способами, применяемыми при отборе проб в горных выработках, являются: штуфной, бороздовый, точечный, задиравый, валовый, горстьевой и вычерпывания.

Штуфной способ. Штуф представляет собой кусок полезного ископаемого или вмещающей горной породы. Отбор штуфных проб осуществляется с помощью геологического молотка (кувалды), кайла, лопаты и т.п. Размер штуфных проб определяется их целевым назначением. Наиболее часто штуфные пробы отбираются при техническом и минералогическом опробовании. Отбор штуфных проб при химическом опробовании, как правило, не производится вследствие их невысокой надежности. Масса проб обычно составляет 0,5–2,0 кг.

Бороздовый способ является одним из самых распространенных способов отбора проб в горных выработках. Особенно широко он используется при химическом опробовании. Способ применим для опробования слоистых и полосчатых руд. Геометрическая форма бороздовой пробы – призма стандартного сечения. Отбор бороздовых проб состоит из следующих операций: 1) подготовка поверхности, с которой отбирается проба, и разметка борозды, 2) зарубка борозды (рис. 7.1, а; 7.1, б), 3) скалывание материала между зарубками

(7.1, в), 4) сбор материала с брезентового коврика в пробный мешочек, 5) документация и этикетирование.

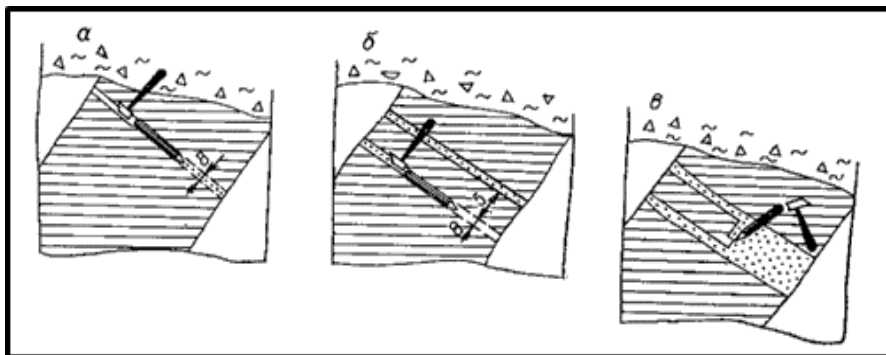


Рис. 7.1. Отбор бороздовой пробы: *а и б* – зарубка борозды с помощью молотка и зубила; *в* – скалывание материала между зарубками

Поперечное сечение бороздковых проб рекомендуется выбирать в зависимости от характера распределения компонентов в полезном ископаемом и мощности залежей (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Рекомендуемые сечения правильной борозды, см²
(по Е. О. Погребницкому и др., 1977 с дополнениями)

Распределение компонентов	Коэффициент вариации, %	Мощность рудных тел, м		
		>2,5	0,5–2,5	<0,5
Крепкие полезные ископаемые				
Весьма равномерное и равномерное	<40	2 × 5	2 × 6	2 × 10
Неравномерное	40–100	2,5 × 8	2,5 × 9	2,5 × 10
Весьма и крайне неравномерное	>100	3 × 8	3 × 10	3 × 12
Мягкие полезные ископаемые (без учета мощности рудных тел)				
Весьма равномерное и равномерное	<40	2–5 × 5–10		
Неравномерное и весьма неравномерное	>40	5–10 × 10–20		

Длинную сторону бороздовой пробы целесообразно ориентировать в направлении нормальной мощности (рис. 7.2, *а*). Однако для удобства пробоотбора при моноклинальном залегании и постоянных углах падения их часто ориентируют горизонтально – при углах падения более 45° (рис. 7.2, *б*) или вертикально (при углах падения менее 45°). Маломощные залежи обычно опробуются на всю мощность. Для мощных залежей длина бороздовых проб может достигать нескольких метров, но, как правило, не более 5 м. При этом в приконтактных частях залежей длина проб обычно сокращается до 0,3–0,5 м для того, чтобы точнее оконтурить тело полезного ископаемого. Масса бороздовых проб длиной 1 м в зависимости от площади поперечного сечения пробы и плотности опробуемых пород и руд может варьировать от 1 до 25 кг.

При ручном отборе проб, осуществляемом с помощью молотка и зубила, весьма сложно сохранить правильное сечение бороздовой пробы, что обусловлено различием физико-механических свойств (твердость, хрупкость, трещиноватость) слагающих полезное ископаемое минералов и их агрегатов. Причем часто происходит селективное выкрашивание или рудных, или нерудных минералов. Это может привести к существенным как случайным, так и систематическим погрешностям пробоотбора. Кроме того, ручной способ отбора проб в крепких рудах отличается крайне низкой производительностью.

В нашей стране и за рубежом проводилось достаточно большое количество экспериментов по механизации отбора бороздовых проб. Они в основном касались механизации самой трудоемкой операции – зарубки борозды – с помощью алмазных или твердосплавных дисков. Широкого распространения, особенно на стадиях оценочных работ и разведки, эти способы пока не получили, что связано с необходимостью к каждому пункту опробования подводить источники энергии. А это экономически не всегда оправдано.

Сложность ручного отбора бороздовых проб правильной геометрии обусловила разработку разновидностей: пунктирная борозда и объемная борозда (рис. 7.3).

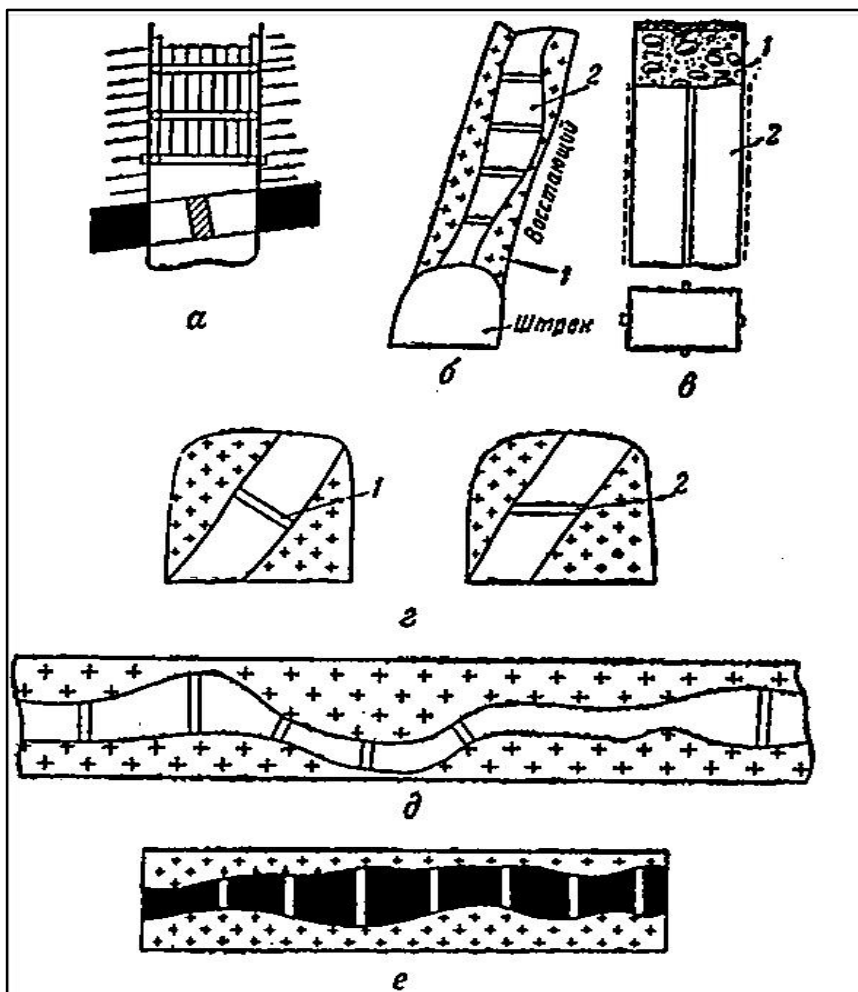


Рис. 7.2. Схемы расположения бороздовых проб в горных выработках:
a – нормально ориентированная проба на стенке шурфа, вскрывшего пологопадающий пласт; *б* – горизонтальные пробы на стенке восстающего; *в* – вертикальная проба на стенке шурфа, вскрывшего горизонтальный пласт; *г* – нормально- и горизонтально ориентированные пробы на передовых забоях штрека; *д* – нормально ориентированные пробы на кровле штрека; *е* – нормально ориентированные пробы на дне продольной канавы, вскрывшей рудное тело переменной мощности

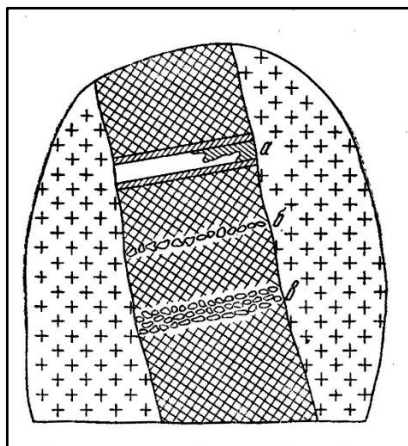


Рис. 7.3. Разновидности бороздовых проб
(по Е. О. Погребицкому и др., 1977 с изменениями):
а – бороздовая проба правильного сечения;
б – пунктирная бороздовая проба;
в – объемная бороздовая проба

При отборе *пунктирной борозды* через заданный интервал (5–10 см) вдоль заранее размеченной линии с помощью молотка отбиваются кусочки руды стандартного размера (3–5 см), которые в дальнейшем объединяются в одну пробу. В слоистых и полосчатых рудах данный способ применять не следует из-за возможности появления систематических погрешностей. Сущность отбора *объемной борозды* заключается в том, что с заданного интервала, обычно принимаемого равным 10 см, отбирается количество материала, соответствующее теоретическому объему. Объем отбираемого материала контролируется с помощью мерного сосуда. В дальнейшем материал со всех частных интервалов объединяется в одну пробу.

Точечный способ опробования применяется в основном при химическом опробовании. Его применение имеет некоторые ограничения. Точечный способ не следует применять для опробования руд, имеющих резкую анизотропию текстурно-структурных свойств, в частности, для опробования полосчатых и слоистых руд. Опробованию подвергаются стенки или передовой забой выработки. Перед взятием пробы осуществляется разметка опробуемой поверхности: на ней мелком прочерчивается квадратная сеть с размером ячеек 25–30 × 25–30 см. В узлах квадратной сети с помощью молотка отбиваются кусочки руды размером 2–5 см, которые затем объединяются в одну пробу (рис. 7.4). Число частных порций должно быть не менее 25–30. Точечный способ опробования может быть реализован не только в площадном, но и в линейном вариантах. Линейная точечная проба практически идентична пунктирной борозде.

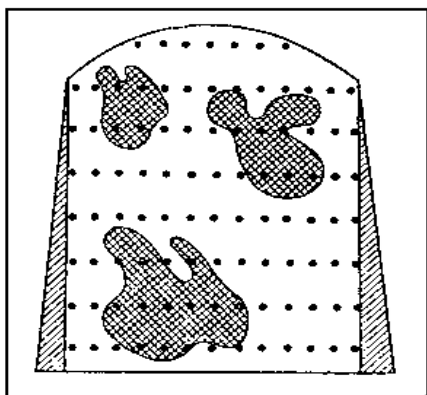


Рис. 7.4. Схема опробования передового забоя горизонтальной подземной горной выработки точечным способом грубопятнистых руд с крайне неравномерным распределением мономинеральных агрегатов (по Е. О. Погребницкому и др., 1977). Точками показаны пункты отбора частных порций точечной пробы

Задирковый способ. Задирковая проба представляет собой всю массу материала, отбитого с определенной площади стенки выработки или ее передового забоя на глубину 5–10 (иногда до 20) см. Масса задирковых проб составляет 30–250 кг с 1 м² опробуемой площади. Способ применяется сравнительно редко, в основном используется при химическом опробовании жильных месторождений редких и благородных металлов, имеющих малую мощность рудных тел. Может применяться при технологических испытаниях, а также в качестве контрольного.

Валовый способ. Валовая проба представляет собой всю массу материала, полученного при проходке определенного интервала горной выработки. Масса таких проб может достигать нескольких десятков тонн. Способ широко применяется при технологических исследованиях, химическом опробовании полезных ископаемых, имеющих крайне неравномерное распределение полезных компонентов (благородные металлы, алмазы, драгоценные камни, оптическое сырье, слюды, асбест, желваковые фосфориты и др.), в ряде случаев – при минералогическом и техническом опробовании, а также в качестве контрольного.

Горстьевой способ применяется для опробования отбитых рудных масс в забоях горных выработок в случаях, когда по каким-либо причинам опробование полезного ископаемого не было осуществлено в коренном залегании. Способ целесообразно использовать только для опробования залежей большой мощности. Частные порции пробы массой 0,2–0,3 кг отбираются с поверхности навала по квадратной сети (рис. 7.5). Их количество составляет от 10 до 50, а общая масса пробы обычно не превышает 15 кг.

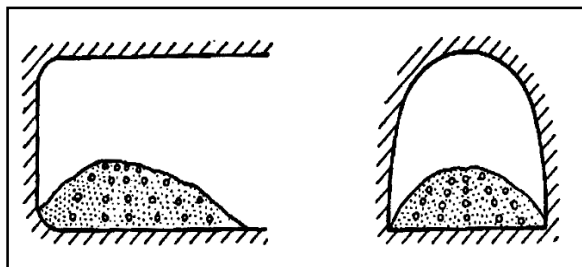


Рис.7.5. Схема расположения частных порций горстьевой пробы на рудном навале
(по В. В. Авдоницу и др., 2007)

Способ вычерпывания в целом аналогичен горстьевому. Различие заключается в том, что частные порции отбираются на всю глубину навала. Для этого лопатами, совками или специальными шупами проходятся лунки (рис. 7.6). При наличии крупных глыб применение способа невозможно.

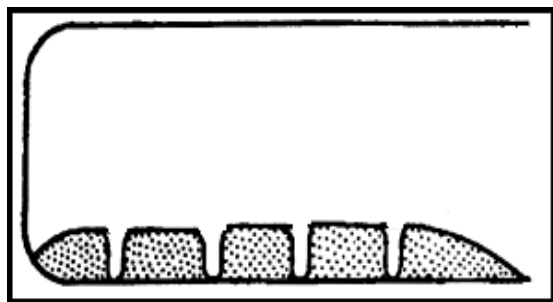


Рис. 7.6. Схема расположения лунок на рудном навале при опробовании способом вычерпывания
(по В. В. Авдоницу и др., 2007)

7.2.2. Опробование буровых скважин

В практике разведки и эксплуатации месторождений широко применяются буровые скважины. Они могут проходиться как колонковым (с отбором керна), так и бескерновым способами. Их опробование имеет существенные отличия.

Опробование скважин характеризуется следующими особенностями:

- стенки скважин недоступны для осмотра;
- повторный отбор проб затруднителен;
- количество материала, поступающего в пробу, ограничено диаметром бурения.

Опробование скважин колонкового бурения. Материалом для опробования скважин колонкового бурения служит керна, а при неполном выходе керна – также и шлам. Предварительно промытый и задокументированный керна с помощью кернокола делится на две равные половины, одна из которых направляется в пробу, а другая оставляется в керновом ящике в качестве

материала на хранение и для других исследований. Образующаяся при делении керна мелочь перемешивается, делится пополам и направляется соответственно в пробу и керновый ящик. Используются ручные и гидравлические керноколы.

Более точным способом деления керна является его распиливание на камнерезных станках. При равномерном распределении компонентов в пробу может направляться не половина керна, а лишь его четвертая часть и даже меньшая. Опробование керна возможно также бороздовым способом путем фрезерования или путем высверливания материала алмазными сверлами. Однако перед применением указанных способов опробования обязательно должны быть проведены экспериментальные исследования на предмет установления величины погрешности пробоотбра, которая не должна превышать допустимых пределов. При диаметре керна менее 50 мм возможность отбора в пробу половины керна также требует специального экспериментального обоснования.

Достоверность опробования по керну зависит в первую очередь от полноты его выхода. Выход керна B_k чаще оценивается линейным способом как отношение длины керна l к длине пробуренного интервала L :

$$B_k = \frac{l}{L} 100\% .$$

В сильно разрушенных и трещиноватых рудах линейный способ может давать большие погрешности. В этих случаях выход керна целесообразно оценивать объемным способом: как отношение объема полученного керна к расчетному. Объем керна, вынутого из скважины, можно измерить с помощью мерного сосуда с водой, расчетный же объем определить не сложно, т.к. теоретический диаметр керна всегда известен. При этом, однако, следует иметь в виду, что диаметры коронки, скважины и керна не равны. Их соотношения при бурении твердосплавными коронками приведены в табл. 7.2.

Согласно «Методическим рекомендациям..., 2007», как указано выше, минимально допустимый выход керна по рудным интервалам проходки скважин должен составлять не менее 70 %, а для нерудных полезных ископаемых – не менее 80 %. Для повышения выхода керна рекомендуется применять алмазное бурение, бурение всухую, сокращение рейсов уходки, двойные колонковые трубы, обратную промывку и др. При низком выходе керна параллельно с опробованием керна ведется опробование шлама. Тем не менее надежность такого опробования невысокая.

Таблица 7.2

Соотношения диаметров коронок, скважин и керна

Диаметр коронок, мм (наружный/внутренний)	Диаметр скважины, мм	Диаметр керна, мм
151/133	157	125
132/114	137	108
112/94	117	88
93/75	98	70
76/59	81	54
59/44	64	40
46/31	50	26

Серьезные проблемы могут возникнуть при появлении так называемого *избирательного разрушения керна*, которое обусловлено различием физико-механических свойств, слагающих полезное ископаемое минералов. Хрупкие или мягкие минералы, слагающие прожилки, прослойки или цемент брекчий, в процессе бурения разрушаются более интенсивно и переходят в шлам или буровую мусть. В результате керн либо обедняется, либо обогащается полезными компонентами. Избирательное разрушение, приводящее к занижению содержаний полезных компонентов в керновых пробах, установлено на молибденовых, ртутных, сурьмяных, угольных месторождениях. Оно обусловлено более интенсивным истиранием молибденита, киновари, антимонита, угля по сравнению с другими минералами. Напротив, на месторождениях солей и известняков, содержащих глину, происходит вымывание глинистых прослоев буровым раствором, что приводит к завышению содержаний полезных компонентов по данным опробования керна (рис. 7.7).



Рис. 7.7. Избирательное разрушение керна в солях Жилинского месторождения. Актюбинская обл., Казахстан (фото М. В. Петрова)

Простейшим способом установления избирательного разрушения керна является сопоставление результатов анализов керновых проб с результатами анализов шлама, отобранного в сопряженных интервалах. Более надежным же является проведение экспериментальных исследований, основанных на сопоставлении керновых проб с бороздовыми. По материалам таких исследований устанавливаются масштабы избирательного разрушения керна и при необходимости рассчитываются поправочные коэффициенты или уравнения.

С целью исключения влияния избирательного разрушения керна на ряде месторождений применяются выпиливание брусков или высверливание материала вдоль оси керна. На месторождениях калийных солей в качестве промывочных жидкостей используются рассолы, насыщенные солями того же состава, или бурение всухую, но и в этом случае отмечается частичное растворение керна.

Опробование соляных пород следует осуществлять в кратчайшие сроки после бурения или проходки горных выработок, в особенности при наличии высокогигроскопичных или легко подвергающихся разложению соляных минералов. Длительная задержка исследования отобранных проб недопустима. Пробы высокогигроскопичных солей, а также солей, подвергающихся быстрому разложению (содержащих карналлит, бишофит, каинит, лангбейнит), следует парафинировать или хранить в герметически закрывающейся (лучше стеклянной) посуде. Пробы сильвинита или каменной соли до начала анализов целесообразно хранить в полиэтиленовых пакетах.

Опробование скважин бескернового бурения. При оценочных работах, разведке, эксплуатационной разведке и эксплуатации, включая эксплуатационное опробование, наряду с бурением колонковых скважин, достаточно широко применяется и бескерновое бурение.

При разработке коренных месторождений наибольшее распространение получили станки *шарошечного бурения* (типа 2СБШ-200 и СБШ-250) на карьерах и станки *пневмоударного бурения* (типа НКР-100) на шахтах, а также их модификации. В качестве материала опробования таких скважин используется шлам. Экспериментально установлено, что выносимый струей сжатого воздуха или водяно-воздушной смеси дробленый материал иногда чрезвычайно сегрегирован как по крупности, так и по содержанию компонентов в нем. Это, естественно, должно учитываться при выборе методики опробования.

После бурения скважин такими станками около их устьев образуются конусообразные ореолы шлама. Их опробование обычно ведется горстьевым или бороздовым способами. При применении *горстьевого способа* на ореол шлама набрасывается сделанная из шпагата сетка с ячейками размером $0,2 \times 0,2$ м, в центрах которых отбираются частные порции массой 50–100 г. Материал частных порций в дальнейшем объединяется в одну пробу.

Более надежным является опробование ореола шлама *бороздовым способом* (рис. 7.8).

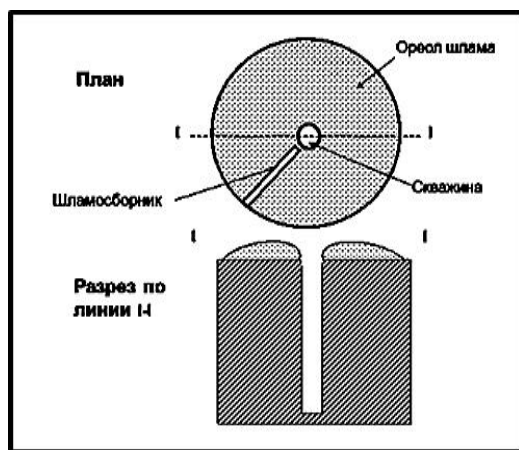


Рис. 7.8. Схема бороздового опробования ореола рассеяния шлама буровзрывной скважины, пробуренной станком СБШ-250

Для этого перед проходкой скважины на почву выработки вдоль оси разброса шлама кладется шламосборник. В качестве шламосборника можно использовать емкость размером $10 \times 10 \times 150$ см или разрезанную вдоль оси трубу диаметром не менее 150 мм и длиной не менее 1,5 м. При заполнении близ расположенных к устью скважины частей шламосборника шлам с помощью лопаточки должен быть перемещен в его периферическую часть. После окончания бурения заданного интервала шлам из шламосборника высыпается на брезентовый коврик или листовую жести, перемешивается и сокращается до требуемой массы (обычно до 5–10 кг при шарошечном и до 3 кг при пневмударном бурении).

Предельно допустимая масса пробы может быть определена также на основе формулы Ричардса-Чечотта (см. подраздел 7.4).

При ударно-канатном бурении (УКБ), которое широко используется при разведке россыпных месторождений, в качестве материала опробования используется шлам, извлеченный из скважины с помощью желонки или специального пробоотборника. Поднятый шлам поступает в приемный желоб, а затем в специальный отстойник. Полученный шлам перед опробованием перемешивают. Отбор проб ведут способом вычерпывания. Для этого в узлах квадратной сети специальными пробоотборниками или шупами отбираются частные порции шлама на всю глубину собранного шлама. Количество частных порций должно быть не менее пяти. Их размещение ведется способом конверта, т. е. четыре пробы отбираются на периферии собранной массы шлама, а одна – в центре.

При опробовании мягких и пластичных полезных ископаемых применяют змеевики (ручное бурение) и шнеки (механическое бурение). Материал проходки таких скважин удерживается на лопастях змеевика или шнека. Интервалы уходки змеевиком составляет 0,3–0,4 м, а шнеком – 1,3–1,5 м. При подъеме материал на лопастях загрязняется вышележащими породами, поэтому перед документацией и опробованием его предварительно очищают. После документации весь материал уходки с заданных интервалов направляется в пробы.

Шнуровой способ применяется при опробовании тел полезных ископаемых, горные выработки в которых проходятся буровзрывным способом. Материалом опробования шнуровых проб служит буровая мука, получаемая при бурении шнуров с продувкой, или шлам при бурении с промывкой. Сбор шнуровой пробы осуществляется преимущественно пневматически путем ее отсасывания из шпура в пробосборник. Для извлечения шлама используется патрубок-тройник, состоящий из отрезка трубы с приваренным к ней под углом 45° более тонким отрезком. Тройник в плоскости симметрии распилен на две одинаковые половинки. После забурки шпура на глубину 5–10 см обе половинки вставляют в шпур, а на трубочку надевают резиновый шланг, по которому буровой шлам стекает в ведро для приемки пробы (рис. 7.9). После высушивания пробу отправляют на обработку и химический анализ.

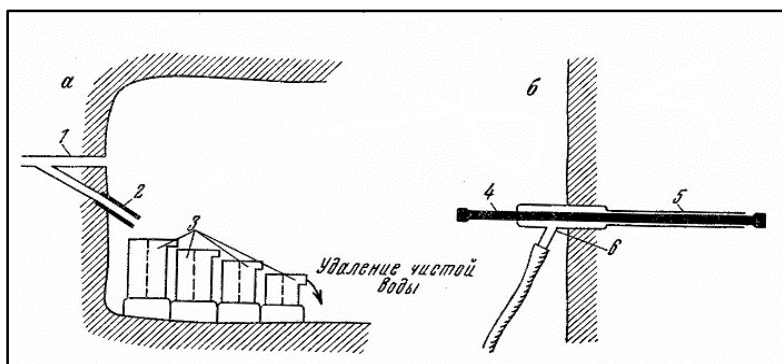


Рис. 7.9. Сбор шлама и мути в отстойниках при бурении шнуров (по А. А. Якжину, 1954 с изменениями):

- а* – с применением патрубка; *б* – с применением тройника со шлангом;
 1 – шпур; 2 – патрубок; 3 – отстойники с перегородками; 4 – бур;
 5 – скважина; 6 – тройник

Длина шнуров, пройденных перфораторами, обычно равна 1,5–3,0 м. Масса шнуровых проб составляет 1–2 кг. К недостаткам шнурового способа опробования относится возможное избирательное разрушение стенок скважины, невозможность установления точного положения контактов залежи

полезного ископаемого. Вследствие высокой погрешности пробоотбора не следует применять шпуровой способ при опробовании тел малой мощности, сложенных крупно- и гигантозернистыми рудами.

7.3. Система опробования

Система опробования представляет собой пространственное размещение проб. Она включает в себя два основных элемента: 1) порядок размещения проб и 2) расстояние между пробами или длину секций проб.

Порядок размещения проб (форма сети опробования), как правило, самостоятельного значения не имеет, так как опробованию подвергаются горные выработки и скважины, на порядок размещения которых оказывает влияние целый комплекс геологических и горно-технических факторов. Некоторую относительную самостоятельность форма сети может иметь лишь при опробовании буровзрывных скважин, проходимых по достаточно густой сети. В этих случаях с помощью специальных расчетов может быть установлена оптимальная сеть их опробования. В частности, могут быть определены форма сети (квадратная, прямоугольная) и параметры этой сети (все ли скважины должны быть опробованы или через одну, две и т. д.).

Второй элемент системы опробования обычно решается на основе общепринятого правила: *прослеживающие выработки, т. е. пройденные по простиранию или падению залежей (штреки, восстающие, пройденные по простиранию штольни и каналы) опробуются дискретно, а секущие выработки, т. е. вскрывающие залежь от висячего до лежащего бока (скважины, квершлага, орты, пройденные вкрест простирания каналы, штольни и т. д.) – непрерывно*. Такое размещение проб находится в полном соответствии с анизотропией геологических полей основных качественных характеристик полезных ископаемых.

Для прослеживающих выработок устанавливается оптимальное расстояние между пробами. В зависимости от степени изменчивости главных компонентов полезных ископаемых это расстояние может колебаться в довольно широких пределах (табл. 7.3).

Для секущих выработок и скважин, опробуемых непрерывно, устанавливается оптимальная длина секций проб, при выборе которой учитывается мощность залежи полезного ископаемого. Маломощные залежи опробуются относительно короткими секциями, а мощные – более длинными. Наиболее короткие секции могут составлять 0,2–0,5 м, а наиболее длинные могут достигать 5,0 м; причем первые применяются для тонких залежей (мощностью до 1,5 м), а вторые – для мощных и сверхмощных (50 и более м).

Таблица 7.3

Рекомендуемые расстояния между бороздовыми пробами
(по Н. В. Барышеву с дополнениями)

№ п/п	Характер распределения компонентов и виды полезных ископаемых	Коэффициент вариации, %	Расстояние между пробами, м
1	Весьма равномерный: угли, горючие сланцы, осадочные железные руды, фосфориты, соли, известняки	<20	50–15
2	Равномерный: соли, сера, глины, марганец, эндогенные железные руды	20–40	15–4
3	Неравномерный: руды <i>Pb, Zn, Cu, Ni, W, Sn, Mo</i>	40–100	4–2,5
4	Весьма неравномерный: руды <i>Sn, W, Mo, Au</i> , редких и рассеянных элементов	100–150	2,5–1,5
5	Крайне неравномерный: некоторые руды <i>Au</i> , редких и рассеянных элементов	>150	1,5–1,0

При составлении проектов оценочных работ и разведки месторождений для определения планируемого количества отбираемых проб пользуются средними значениями длин секций проб (бороздовых, керновых и др.). Однако непосредственно при выполнении опробования эта операция не должна быть формальной. Следует учитывать следующие требования к установлению границ секционных проб:

- границы секций устанавливаются при визуальном контроле;
- заведомо безрудные части горных выработок и скважин не опробуются;
- близ предполагаемых контуров рудных тел длина секций уменьшается с тем, чтобы как можно точнее оконтурить залежь полезного ископаемого;
- опробование следует проводить непрерывно, на полную мощность рудного тела с выходом во вмещающие породы на величину, превышающую мощность пустого или некондиционного прослоя, включаемого в соответствии с кондициями в промышленный контур;
- при нечетких контактах за пределами предполагаемого контура рудного тела отбираются по 1–2 коротких пробы;
- границы секций приурочиваются к границам визуально определяемых природных типов полезного ископаемого, а также к границам интервалов с различной рудонасыщенностью;

– в скважинах, кроме того, границы секций приурочиваются к порейсовым уходкам; недопустимо в одну пробу включать интервалы с резко различным (более 10 %) выходом керна.

В горных выработках при весьма равномерном, равномерном и неравномерном распределениях компонентов (месторождения железных, марганцевых, медных, полиметаллических руд, бокситов, солей и др.) опробованию подвергается одна из стенок. При весьма и крайне неравномерном распределении компонентов (месторождения олова, вольфрама, молибдена, сурьмы, ртути, золота и др.) опробуются обе стенки.

В горизонтальных подземных горных выработках, пересекающих крутопадающие ($>45^\circ$) моноклинальные залежи, бороздовые и линейно-точечные пробы отбираются из стенок по линиям, намеченным на заранее установленной высоте от подошвы выработки. При пологом залегании тел полезных ископаемых, вскрытых горизонтальными выработками на полную мощность, указанные пробы на стенках целесообразно ориентировать вертикально. В выработках, пройденных по простиранию, опробуются забои.

7.4. Обработка проб

Отобранные пробы ни по массе, ни по размеру частиц не удовлетворяют требованиям для производства химических анализов. Их масса может варьировать в широких пределах – от долей килограмма до нескольких сотен килограммов, а размер частиц и кусочков – от долей миллиметров до десятков сантиметров. В то же время для производства химического анализа рядовой пробы требуется, как правило, всего 50–100 г материала. При этом материал должен быть измельчен до крупности менее 0,1 мм. В общем случае крупность материала аналитической пробы определяется требованиями планируемого к использованию метода анализа, а масса должна составлять не менее 10-кратного значения минимальной представительной навески, определенной методикой анализа. Для производства пробирного анализа, применяемого для установления содержаний благородных металлов, требуется большее количество материала – до 0,5–0,6 кг.

Целью обработки проб является их подготовка к стандартным требованиям для проведения химического анализа, сохранив при этом первоначальные соотношения между химическими компонентами в исходной руде. В результате пробоподготовки должны быть получены аналитические пробы и их дубликаты. Дубликаты аналитических проб по массе и крупности частиц должны соответствовать аналитическим пробам. Они хранятся как первичный

фактический материал, используются для различных видов контроля, составления групповых проб и других видов исследований.

Применяется два способа подготовки проб для химического анализа: *стадийный и одноактный*.

Для составления *стадийных* схем обработки проб более века назад американскими учеными была предложена формула, вошедшая в теорию и практику под названием формула Демонда–Хальфердаля

$$q = k d^{\alpha},$$

где q – минимальная масса пробы, до которой ее можно сократить (кг), d – максимальный диаметр частиц (мм), α – безразмерный коэффициент.

Авторы формулы предлагали величину α принимать в пределах от 1,5 до 2,7. Вследствие сложности выбора значений k и α на практике от указанной формулы довольно быстро отказались и перешли на ее частный вариант, который применяется и в настоящее время. Этот вариант формулы Демонда–Хальфердаля называется формула (принцип) Ричардса–Чечотта

$$q = k d^2,$$

где q – минимальная масса пробы, до которой ее можно сократить (кг), d – максимальный диаметр частиц (мм), k – безразмерный коэффициент (коэффициент неравномерности).

Почти вековой опыт применения формулы Ричардса–Чечотта показал ее работоспособность, хотя в физическом смысле она логически противоречива: в соответствии с ней $кг = мм^2$ (?).

Важнейшей проблемой при применении формулы Ричардса–Чечотта является выбор значения коэффициента k . Коэффициент k в зависимости от вида полезного ископаемого может изменяться в пределах от 0,05 до 1,0. Его величина зависит от физико-механических свойств минералов, слагающих полезное ископаемое, и, в первую очередь, от того, насколько равномерно они распределяются по массе пробы в процессе дробления и перемешивания. Хрупкие минералы, образующие мелкозернистые агрегаты, как правило, склонны к переизмельчению и равномернее распределяются по массе пробы. В то же время ковкие минералы, например самородное золото, измельчаются труднее. Для них сложнее добиться равномерности распределения по массе пробы. Именно поэтому для хрупких минералов значения коэффициента k принимаются меньшими, а для ковких – большими.

Величину коэффициента k следует определять на каждом месторождении и для каждого природного типа руды путем проведения специальных

экспериментальных исследований. Методика определения коэффициента k , предложенная П. Л. Каллистовым, приведена, в частности, в учебнике В. М. Крейтера. Однако на практике, особенно на стадиях оценочных работ и разведки месторождений, его значение чаще устанавливается по принципу аналогии. Для этих целей можно рекомендовать значения коэффициента k , приведенные в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Значения коэффициента k в формуле Ричардса–Чечотта
(по Н. В. Барышеву, 1940 с дополнениями)

№ п/п	Характер распределения компонентов и виды полезных ископаемых	Коэффициент вариации, %	Коэффициент k
1	Весьма равномерный: угли, осадочные железные и марганцевые руды, бокситы, соли, известняки	<20	0,05
2	Равномерный: эндогенные руды Fe , Cu , Pb , Zn , Ni , Ti	20–40	0,1
3	Неравномерный: эндогенные руды Sn , W , Mo , TR , а также руды Fe , Cu , Pb , Zn , Ni , Ti с мелкими (<0,2 мм) агрегатами Au	40–100	0,2
4	Весьма неравномерный: Au и редкие металлы, образующие средние (0,2–0,6 мм) минеральные агрегаты	100–150	0,4
5	Крайне неравномерный: Au и другие благородные металлы, образующие крупные (>0,6 мм) минеральные агрегаты	>150	0,8–1,0

Обработка проб производится в проборазделочных лабораториях, оборудованных необходимыми механизмами и инструментами. Она состоит из следующих операций: 1) дробление (измельчение), 2) контрольное грохочение (просеивание), 3) перемешивание, 4) сокращение.

Крупное дробление ведется *щековыми дробилками*, с помощью которых можно раздробить куски размером от 60–80 мм до 3–10 мм. Если проба содержит куски размером более 60–80 мм, они, прежде чем направить в дробилку, должны быть раздроблены вручную с помощью молотка на стальной плите.

Дробление кусков породы в щековых дробилках (рис. 7.10) производится с помощью двух рифленых металлических плит, называемых щеками. Одна из них закреплена на станине неподвижно, другая относительно неподвижной совершает сложные колебательные движения. В некоторых конструкциях щековых дробилок подвижными являются обе щеки. Дробление породы в щековых дробилках происходит циклически – в момент сближения щек. При удалении

щек друг от друга происходит заполнение пространства между ними горной породой. Загрузка материала производится через загрузочное отверстие, расположенное в верхней части дробилки. Раздробленная порода высыпается через выпускную щель, расположенную в нижней части между щеками.

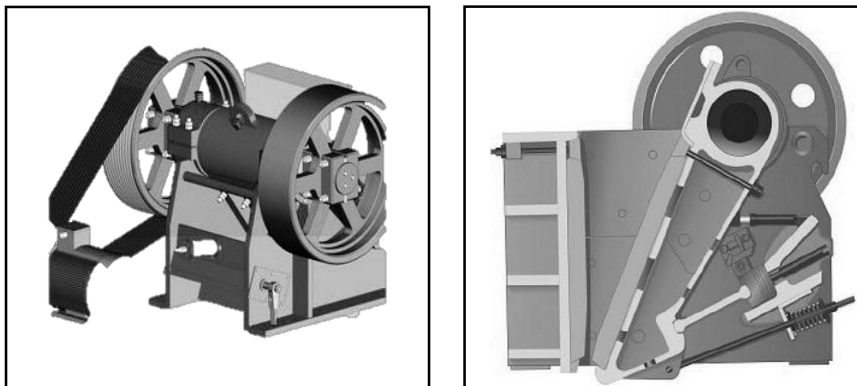


Рис. 7.10. Щековая дробилка: слева – общий вид; справа – разрез

Производительность щековых дробилок варьирует в пределах от 1 до 500 т/ч. Основными достоинствами щековых дробилок являются простота конструкции, обслуживания и ремонта. Недостатки – большой удельный расход электроэнергии; вибрация, вызывающая повышенный износ многих элементов конструкции – подшипников, соединений; выдача неравномерного по крупности продукта; склонность к забиванию рабочего пространства негабаритными кусками породы, особенно влажной и др.

Мелкое измельчение производится *валковыми дробилками* (рис. 7.11), позволяющими дробить материал крупностью менее 10 мм до 0,5–4,0 мм. Дробление породы в валковых дробилках производится между двумя вращающимися навстречу друг другу горизонтально расположенными параллельными валами. Материал в дробилку подается сверху через загрузочное отверстие, зажимается поверхностями валов в щель между ними и измельчается. Продукты дробления через разгрузочное отверстие высыпается вниз.

По конструктивным особенностям рабочей поверхности различают гладкие, рифленные и зубчатые валки. Зубчатые валки обеспечивают лучший захват крупных кусков и более эффективное их раскалывание. Гладкие валки осуществляют дробление преимущественно раздавливанием. Производительность валковых дробилок зависит от прочности породы, размера и скорости вращения валков, а также величины загрузочной щели.

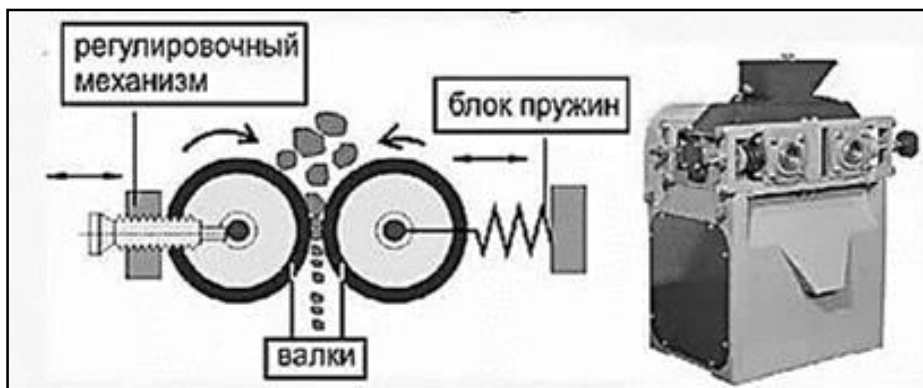


Рис. 7.11. Валковая дробилка: слева принцип работы; справа – общий вид

Тонкое измельчение до размера $<0,05$ мм ведется с помощью дисковых истирателей, виброистирателей, стержневых мельниц и др. Лабораторные дисковые истиратели (дисковые мельницы) предназначены для измельчения и истирания материала, состоящего из минералов твердостью не выше 6–7 единиц по шкале Мооса. Загружаемый материал через воронку поступает в пылезащищенную камеру, где захватывается вращающимся диском (рис. 7.12). Измельчение происходит за счет давления и сил трения. Благодаря зубьям, помещенным в центральной зоне дисков, материал предварительно измельчается, после чего под воздействием центробежных сил попадает во внешнюю зону, где происходит его тонкое измельчение. Измельченный материал просыпается из щели между дисками и собирается в приемном бункере. Ширина щели может быть отрегулирована. Производительность дискового истирателя зависит от физических свойств измельчаемого материала, его размеров на входе и требуемой крупности на выходе (расстояния между дисками).

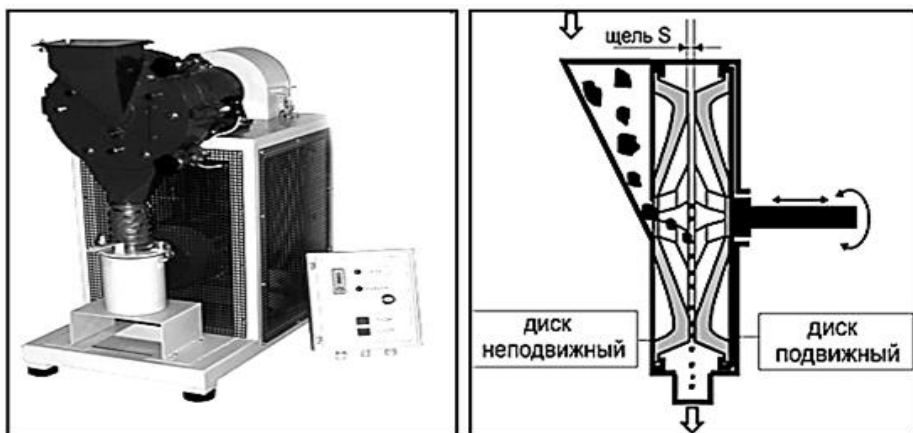


Рис. 7.12. Дисковый истиратель: слева – общий вид; справа – принцип работы

Важнейшие характеристики лабораторных дробилок приведены в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Некоторые характеристики лабораторных дробилок

Тип дробилки	Размер частиц, мм		Производительность, кг/ч	Мощность двигателя, кВт
	Питание (максимальный размер)	Разгрузка (минимальный размер)		
Щековая ДШ-100×60	60	3–10	230–400	1,0
Щековая ДШ-150×80	80	3–10	400–650	1,7
Валковая 59-ТДр	10	0,5–0	90	1,0
Дисковый истиратель ИДА-175	3	0,05	40	0,5
Виброистиратель 75Т-ДР-М	2–3	0,05	Менее 0,07	0,6

Необходимость многостадийного дробления обусловлена тем, что производительность дробильных механизмов различна: для измельчения одной и той же массы пробы при тонком измельчении (на истирателях) требуется существенно больше времени, а соответственно и энергозатрат, чем при крупном (на щековых дробилках).

Контрольное просеивание (грохочение) производится для того, чтобы максимальный размер частиц в пробе после каждой операции дробления не превышал заданной величины. С этой целью используются наборы сит (грохотов), выпускаемых отечественной промышленностью. Отверстия в ситах и грохотах имеют стандартные размеры (мм): 50; 25; 12; 6; 5; 3; 2,5; 2; 1,6; 1,25; 1,0; 0,80; 0,63; 0,50; 0,40; 0,315; 0,25; 0,20; 0,16; 0,125; 0,1.

На некоторых отечественных предприятиях при обработке проб применяются сита с другими размерами отверстий. В ситах (грохотах) англо-американского стандарта размер отверстий указан в мешах. Меш [англ. mesh – петля, ячейка сетки, отверстие сита] – внесистемная единица измерения для проволочных сеток (сит). Она равна количеству отверстий проволочной сетки, проходящихся на один линейный дюйм (25,4 мм) при толщине проволоки, равной диаметру отверстий (табл. 7.6).

Таблица 7.6

Перевод размеров отверстий в ситах из *меш* в мм

№ сита (меш)	Размер квадратного отверстия, мм	№ сита (меш)	Размер квадратного отверстия, мм
6	3,350	70	0,211
12	1,680	100	0,152
20	0,853	140	0,104
30	0,599	200	0,076
40	0,422	270	0,066
50	0,297	325	0,044

Количество сит должно соответствовать количеству используемых для обработки проб дробильных механизмов, а размер их отверстий – среднему размеру частиц, получаемых после дробления. Материал, не прошедший через сито, направляется на повторное дробление. Помимо контрольного просеивания, часто применяется *вспомогательное просеивание*. Оно проводится для того, чтобы не допускать в процесс дробления частицы, имеющие размер меньше выходного размера дробильного механизма, и тем самым не загружать дробилку лишним материалом. Вспомогательное просеивание обычно осуществляется перед дроблением на щековых и валковых дробилках.

Для того чтобы объем дробленого материала перед сокращением был однородным, производится его *перемешивание*. При большом количестве материала перемешивание осуществляется с помощью совка или лопаты. В лабораторных условиях перемешивание производится способом кольца и конуса (рис.7.13) или на клеенке.

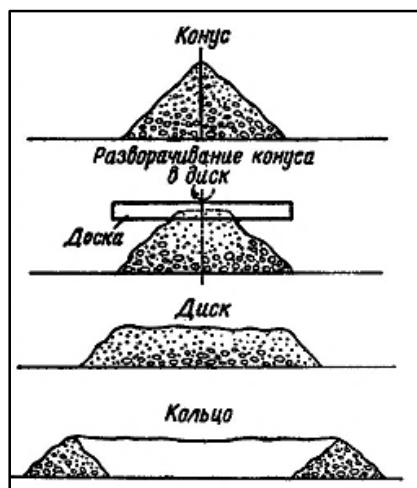


Рис.7.13. Схема перемешивания пробы способом кольца и конуса (по М. Ф. Локонову, 1961)

При применении способа кольца и конуса проба высыпается на лабораторный стол, а затем с помощью совка насыпается в виде конуса. Далее с помощью металлической пластинки путем постепенного вдавливания при одновременном ее вращении проба разворачивается в кольцо. Затем материал пробы с помощью совка вновь насыпается в виде конуса. Указанные операции должны быть повторены не менее трех раз.

При перемешивании вторым способом проба высыпается на клеенку, положенную на лабораторный стол. Сам же процесс перемешивания заключается в попеременном приподнимании противоположных концов клеенки.

Сокращение лабораторных проб производится способом квартования, с помощью желобковых делителей Джонса (Джонсона) и способом вычерпывания.

Сущность способа квартования (см. рис. 4.9), заключается в том, что на развернутую в диск пробу накладывается металлическая крестовина, которую несколько раз двигают в диагональных направлениях. В результате такой манипуляции диск разделяется на четыре равных сектора. Материал двух противоположных секторов объединяется, представляя собой сокращенную пробу. Материал двух других секторов направляется в отвал.

Делители Джонса (см. рис. 4.8) – это приспособления для сокращения проб малого или среднего объема (массы). Они представляют собой емкости с 8–24 желобами, направленными через один в противоположные стороны. Ссыпаясь по ним, проба делится на две равные части. Этот способ по сравнению со способом квартования является более оперативным: проба сразу же делится на две равные части, которые попадают в ванночки, размещаемые под отверстиями делителя. Отечественная промышленность выпускает комплекты делителей, которые позволяют разделять пробы с максимальной крупностью частиц от 3 до 25 мм. Точность деления обычно не превышает 2 %. На последних стадиях обработки проб (после измельчения проб на валковых дробилках и истирателях) желобковые делители обычно не применяются.

Способ вычерпывания применяется главным образом для отбора лабораторных проб и их дубликатов на самой последней стадии обработки. Для этого материал, полученный после истирания, насыпается на лабораторный стол в виде квадрата, на который набрасывается квадратная сеть с размером ячеек 2×2 см. В дальнейшем из каждой ячейки с помощью лабораторной ложечки отбирается материал, который после объединения и представляет собой пробу. Как показывает опыт, достаточным обычно является размещение на сокращаемой пробе 25 или 36 ячеек.

В результате обработки геологической пробы должны быть получены аналитическая проба и ее дубликат. По составу, массе и крупности материал дубликата должен соответствовать аналитической пробе.

Пример составления схемы обработки проб

Задание

Составить схему обработки бороздовой пробы сечением 5×3 см и длиной 1,4 м, отобранной на молибденовом месторождении. Максимальный размер кусков в пробе – 70 мм; объемная масса руды – $3,0 \text{ г/см}^3$.

Проборазделочная лаборатория оснащена стандартным оборудованием, включая щековую дробилку ДШ-100×60, валковую дробилку 59-ТДр, дисковый истиратель ИДА-175. В лаборатории имеется стандартный набор грохотов и сит, в том числе необходимые для обработки пробы с размером отверстий 50 мм, 5 мм, 2 мм, 0,1 мм.

Решение

1. Определяем массу пробы: $5 \times 3 \times 140 \text{ см} \times 3,0 \text{ г/см}^3 = 6\,300 \text{ г} = 6,3 \text{ кг}$.
2. Выбираем значение коэффициента k . В соответствии с табл. 7.4 значение коэффициента k принимаем равным 0,2.
3. Проверим возможность сокращения пробы в два раза без дробления: $Q = kd^2 = 0,2 \times 70^2 = 980 \text{ кг}$. Пробу сокращать нельзя, т. к. она имеет массу всего 6,3 кг. При максимальном размере частиц в пробе равном 70 мм, как показывают расчеты, можно сократить в два раза лишь пробу массой $980 \times 2 = 1960 \text{ кг}$.
4. Технические характеристики дробилки ДШ-100×60 не позволяют помещать в нее частицы размером более 60 мм. Проблема может быть решена путем ручного дробления и последующего грохочения через грохот с размером отверстий 50 мм.
5. Осуществляем дробление пробы на щековой дробилке ДШ-100×60.
6. Дробленный материал просеиваем через сито с размером отверстий 5 мм. Материал, оставшийся на сите (крупностью $>5 \text{ мм}$), направляем на повторное дробление.
7. Проверим возможность сокращения дробленной пробы в два раза. В соответствии с формулой Ричардса–Чечотта пробу можно сокращать до массы $0,2 \times 5^2 = 5 \text{ кг}$. Поскольку исходная проба имеет массу 6,3 кг, ее сокращать нельзя, т.к. получим массу $6,3 : 2 = 3,15 \text{ кг}$, что меньше допустимой (5 кг).
8. Направляем пробу на мелкое измельчение с помощью валковой дробилки 59-ТДр. После измельчения осуществляем контрольное просеивание на сите с размером отверстий 2 мм. Материал, оставшийся на сите, отправляем на повторное измельчение.
9. Пробу перемешиваем по способу кольца и конуса. Перемешивание всегда осуществляется перед сокращением.

10. Проверим, до какой массы можно сокращать пробу: $0,2 \times 2^2 = 0,8$ кг. Проводим последовательное сокращение пробы: первое сокращение дает массу $6,3 : 2 = 3,15$ кг; второе – $1,57$ кг. Далее сокращать пробу нельзя, т. к. получим массу $0,78$ кг, а пробу можно сокращать лишь до $0,8$ кг.

11. Пробу направляем на истирание с помощью дискового истирателя ИДА-175. Полученный материал подвергаем контрольному просеиванию на сите с размером отверстий $0,1$ мм и перемешиванию.

12. Проверим, до какой массы можно сократить пробу: $0,2 \times 0,1^2 = 0,002$ кг = 2 г. Однако до такой массы ее сокращать не следует, т.к. для производства химического анализа требуется проба массой 50 – 100 г с оставлением дубликата. По этой причине операцию сокращения необходимо своевременно прекратить.

13. Последовательное сокращение дает следующие промежуточные массы пробы: $1,57 : 2 = 0,78$ кг; $0,78 : 2 = 0,39$ кг; $0,39 : 2 = 0,19$ кг. Далее пробу следует разделить на две равные части: 1) лабораторная проба, направляемая на химический анализ, и 2) дубликат, оставляемый на хранение и для других исследований. Дубликаты проб должны храниться до полной отработки блоков, из которых они отобраны.

Графическое решение задания приведено на рис. 7.14.

Сущность метода *одноактной* подготовки проб состоит в том, что весь материал пробы измельчается в автоматическом режиме или вручную до крупности менее $0,1$ мм, перемешивается и сокращается с помощью делителей Джонса, способами квартования и вычерпывания до массы лабораторной пробы.

Для обработки проб массой от 1 до 50 кг при крупности материала не более 70 мм ВИТР разработал специальный агрегат АП, обеспечивающий автоматическое дробление, перемешивание и сокращение материала при сохранении непрерывности процесса. Производительность агрегата АП зависит от массы проб и крепости пород и составляет 30 – 70 проб в смену. Масса лабораторной пробы после обработки составляет 50 – 150 г, крупность частиц – не более $0,074$ мм. Потребляемая мощность агрегата 8 кВт.

Несмотря на почти полувековой опыт работ по созданию эффективных установок для обработки геологических проб, в основу которых положен одноактный принцип, широкого применения в разведочной практике они пока не получили, что обусловлено их высокой энергоемкостью.

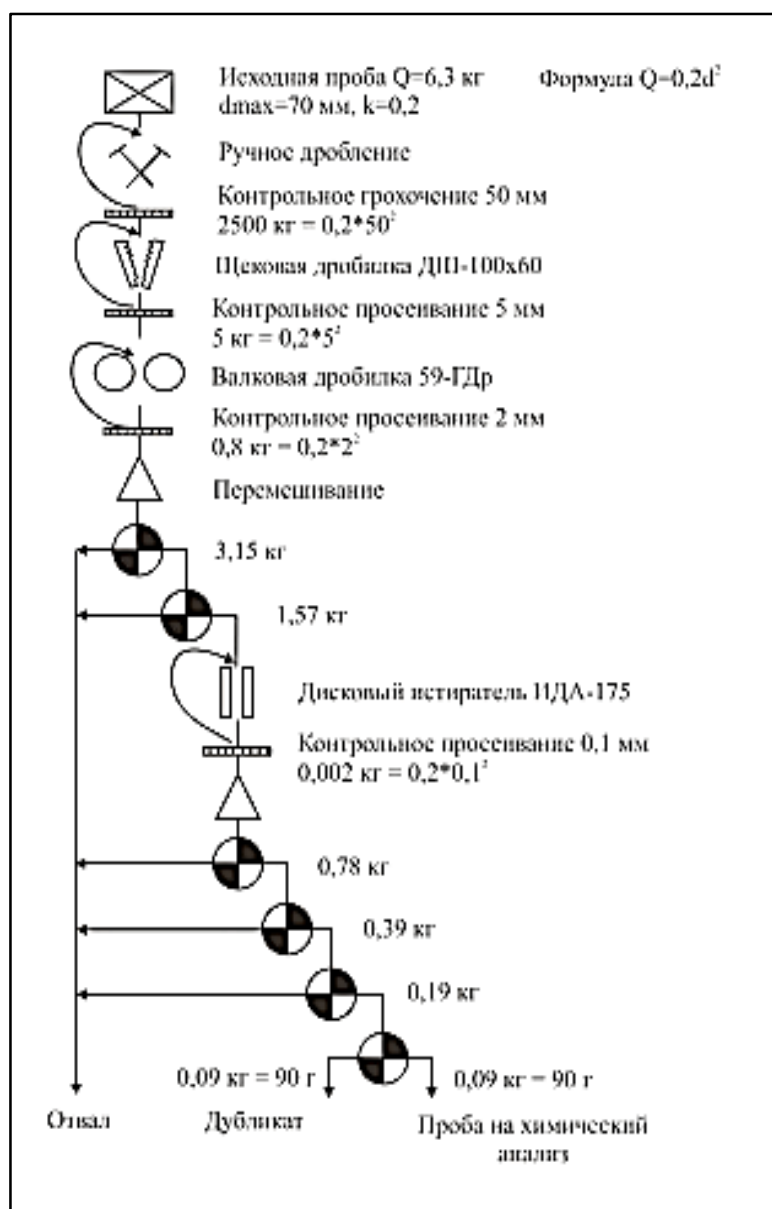


Рис. 7.14. Схема обработки проб

7.5. Химическое опробование

7.5.1. Главные, попутные, второстепенные компоненты

Химическое опробование проводится для определения химического состава полезного ископаемого. Оно является важнейшим для большинства рудных и многих нерудных полезных ископаемых.

По степени значимости химические компоненты подразделяются на главные, попутные и второстепенные.

Главные компоненты принято подразделять на полезные и вредные. Полезные компоненты определяют промышленный профиль месторождения (вид полезного ископаемого); вредные компоненты – это компоненты, которые могут существенно ухудшать качество полезного ископаемого или продуктов его переработки.

Например, на железорудных месторождениях главным полезным компонентом является $Fe_{общ}$ (железо общее), а для магнетитовых руд – также и $Fe_{мт}$ (железо магнетитовое). К вредным относятся компоненты, связанные с минералами, попадающими в железорудный концентрат и существенно ухудшающие качество получаемого металла или требующие дополнительных затрат по их удалению; такие как $S_{общ}$, P , изоморфная примесь Zn в магнетите и др.

Попутные компоненты – это компоненты, которые могут представлять промышленный интерес лишь при извлечении главных полезных или улучшающие качество товарного продукта. На железорудных месторождениях это, например, Ni , Co , Mn , W , Mo , Cr , V и др.

Попутные полезные компоненты могут находиться в виде:

- скоплений минералов, образующих самостоятельные мелкие рудные тела в минерализованных зонах месторождений,
- вкрапленности среди минералов-носителей главных компонентов,
- изоморфных или механических примесей в указанных минералах.

Стоимость попутного полезного ископаемого при его добыче не должна превышать 10 % общей стоимости всех полезных ископаемых, учтенных Государственным балансом данного месторождения.

Попутные компоненты не имеют определяющего значения для промышленной оценки месторождения, но могут быть извлечены попутно без существенных дополнительных затрат. Их извлечение нередко значительно повышает общую ценность полезного ископаемого.

Второстепенные компоненты принципиально не влияют на качество конечного продукта переработки полезного ископаемого (концентрата, металла) и определяются в основном для более полной характеристики

минерального сырья, а также для расчета оптимального состава шихты при металлургическом переделе. К ним, в частности, относятся шлакообразующие компоненты: CaO , MgO , SiO_2 , Al_2O_3 . Соотношение шлакообразующих компонентов образует так называемый *коэффициент основности* (KO):

$$KO = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3}.$$

По значению коэффициента основности руды подразделяются на три типа: кислые ($KO < 0,7$), самофлюсующиеся ($KO = 0,7-1,1$), основные ($KO > 1,1$). Для того чтобы плавка руды происходила в оптимальном режиме, для первого типа руд требуется добавка в шихту горных пород, содержащих CaO и MgO ; для третьего – SiO_2 , Al_2O_3 .

Главные компоненты определяются в *рядовых пробах* (керновых, бороздовых и т. п.), используемых при оконтуривании залежей полезных ископаемых, технологических типов и сортов руд, определении средних содержаний в подсчетных блоках при подсчете запасов. Содержания попутных и второстепенных компонентов устанавливаются в *групповых (объединенных)* пробах. В групповых пробах обязательно должны быть определены и главные компоненты. Перечень компонентов, которые рекомендуется выявлять на месторождениях отдельных видов полезных ископаемых, приведены в Методических рекомендациях... (2007).

Групповые пробы составляются из дубликатов рядовых проб, полученных после их обработки. Масса каждой групповой пробы должна обеспечивать возможность выполнения всех необходимых анализов. В каждую групповую пробу обычно направляется материал не менее пяти рядовых проб, пропорционально их длинам. В инструктивно-методических документах по разведке месторождений отсутствуют четкие указания относительно достаточного количества составляемых групповых проб. Поэтому при решении этого вопроса можно ориентироваться на практический опыт разведки месторождений: для каждого технологического типа обычно составляется не менее 25–30 проб.

Пространственное размещение групповых проб должно обеспечивать равномерное опробование каждого природного типа и сорта полезного ископаемого на все попутные и второстепенные компоненты, выяснение закономерностей их изменения по простиранию и падению залежей, возможность оценки их содержаний при повариантном обосновании кондиций. На месторождениях, сложенных мощными залежами, групповые пробы обычно составляют по пересечениям типов (сортов) полезных ископаемых. При малой мощности рудных тел в групповые пробы объединяется материал рядовых проб по отдельным горизонтам в пределах однородных участков.

7.5.2. Методы химического анализа

При выборе методов лабораторных исследований следует учитывать минеральный состав полезного ископаемого, его физические и химические свойства, перечень определяемых компонентов и интервалы их содержаний, предполагаемые объемы работы (количество проб), требуемую точность, условия работы и квалификацию исполнителей, стоимость и сроки проведения работ.

В соответствии с ОСТ 41-08-212-04 все методы химического анализа минерального сырья подразделяются на *пять категорий точности* (табл. 7.7). Требования к точности анализа проб определяются их назначением. Так, на стадии поисковых работ для геохимических исследований достаточной является пониженная точность анализов (IV и V категории). На стадиях: оценочные работы, разведка, эксплуатационная разведка химический анализ всех проб, используемых при подсчете запасов, должен производиться только количественными методами; причем точность этих анализов должна быть не ниже III категории. Повышенная точность (II и I категории) предъявляется к методам, применяемым при анализе проб внешнего, арбитражного контроля, а также при аттестации стандартных образцов состава и новых методов анализа.

К полным анализам горных пород и минералов III категории точности предъявляются следующие требования:

- сумма компонентов должна составлять $99,5 \pm 1,5$ %, если определены все компоненты при содержании каждого выше 0,1 %;
- сумма компонентов должна составлять $99,9 \pm 1,5$ %, если определены все компоненты при содержании каждого выше 0,01 %.

К полным анализам горных пород и минералов повышенной точности при определении главных компонентов (содержание более 5 %) методами I и II категории точности, остальных – методами III категории требования несколько иные:

- сумма компонентов должна составлять $99,5 \pm 0,8$ %, если определены все компоненты при содержании каждого выше 0,1 %;
- сумма компонентов должна составлять $99,9 \pm 0,8$ %, если определены все компоненты при содержании каждого выше 0,01 %.

Таблица 7.7

Классификация методик и результатов химического анализа
минерального сырья по категориям точности [ОСТ 41-08-212-04]

Вид анализа	Категория точности анализа	Характеристика категории	Коэффициент к предельно допустимой среднеквадратической погрешности	Область применения
Количественный особо точный	I	Анализы, среднеквадратическая погрешность которых в три раза меньше, чем для методик III категории	$<0,33$	Внешний контроль, арбитражный анализ, аттестация стандартных образцов и методик анализа
Количественный анализ с повышенной точностью	II	Анализы, среднеквадратическая погрешность которых в два раза меньше, чем для методик III категории	$0,33-0,5$	Внешний контроль, арбитражный анализ, аттестация стандартных образцов и методик анализа
Количественный рядовой анализ	III	Анализы, среднеквадратическая погрешность которых не превышает предельно допустимую для данного интервала содержаний определяемого компонента*	$0,5-1$	Рядовой анализ, внешний контроль, аттестация стандартных образцов и методик анализа
Количественный рядовой анализ с пониженными требованиями к точности	IV	Анализы, среднеквадратическая погрешность которых может превышать предельно допустимую для методик III категории в два раза, но составлять не более 30 %	$1-2$	Рядовой анализ
Приближенно-количественный анализ	V	Анализы, среднеквадратическая погрешность которых превышает предельно допустимую для методик III категории более чем на 30	>2	Рядовой анализ

* Предельно допустимые относительные среднеквадратические погрешности анализов по отдельным компонентам и интервалам их содержаний приведены в Методических рекомендациях... (2007) по соответствующим видам полезных ископаемых

Количественные методы химического анализа. Из более 140 методов, утвержденных Научным советом по аналитическим методам (НСАМ) и Научным советом по методам минералогических исследований (НСОММИ), к количественным химическим методам анализов относятся около 90. Их особенностью является необходимость предварительной подготовки пробы в виде раствора.

Преимуществом этих методов перед другими является малая зависимость результатов анализа от состава пробы. Они позволяют определять абсолютное количество химического элемента прямым способом, в то время как иными методами определяются лишь их относительные количества путем сравнения с содержаниями в эталонах. Химическими методами выявляется около 55 химических элементов в горных породах, полезных ископаемых и минералах при содержаниях компонентов от 10^{-7} % до десятков процентов. Химические анализы характеризуются низкой *чувствительностью* (содержание компонентов обычно определяется с точностью до сотых долей процента), но имеют высокую *точность* (небольшие отклонения от истинного значения) и высокую *воспроизводимость* (способность при повторении анализа давать те же результаты). При испытаниях проб химический анализ является основным на большинстве рудных и на многих нерудных месторождениях.

Количественное определение содержаний элементов производится гравиметрическими (весовыми), объемными, фотометрическими, флюорометрическими, электрохимическими (полярографическими, потенциометрическими), люминесцентными и другими методами. Разделение элементов и отделение от мешающих примесей осуществляется осаждением, соосаждением, комплексообразованием, экстракцией, ионным обменом, хроматографическими методами, отгонкой и другими приемами из предварительно подготовленных химических растворов.

В основе *гравиметрических методов* анализа лежат выделение из раствора, перевод в твердую фазу и взвешивание определяемого химического элемента или его соединения определенного состава. Гравиметрические методы достаточно трудоемки, но их достоинством является высокая точность. Обычно этими методами определяют содержание полезного компонента от 0,5 % и выше.

К гравиметрическому относится и *пробирный метод* анализа, который применяется исключительно для количественного определения золота, серебра и элементов платиновой группы (платины, рутения, родия, палладия, осмия, иридия). Чувствительность определения золота и серебра составляет 0,1–0,2 г/т. Предельно допустимые погрешности в зависимости от классов содержаний золота могут достигать от 4 до 30 %. Масса подготовленной

для пробирного анализа пробы должна составлять 500–600 г при крупности частиц менее 0,074 мм. Необходимость применения пробирного анализа обусловлена очень низкой концентрацией золота и серебра в природных образованиях.

Пробирный анализ основан на свойстве расплавленного металлического свинца растворять благородные металлы с получением легкоплавких сплавов. Для этого материал проб шихтуется с коллекторами – соединениями свинца: глет (PbO), реже свинцовый сурик (Pb_3O_4), уксуснокислый свинец $Pb(CH_3COO)_2$, плюмбит ($N_2O \cdot PbO$). К шихте примешиваются флюсовые добавки: сода, бура, кварц и др. В результате тигельной плавки смеси получается свинцовый сплав, в котором в расплавленном виде находятся и благородные металлы. Сплав подвергается купелированию (окислительному плавлению в муфельной печи при температуре 850–900 °С). В результате купелирования получают сплавы благородных металлов (корольки). Полученные корольки растворяют в кислотах (обычно используют азотную кислоту). Определение концентрации металла ведется способами осаждения.

Объемные (титриметрические) методы анализа основаны на измерениях количества реактива, затраченного на взаимодействие с определяемым веществом при химических реакциях нейтрализации, окислительно-восстановительных, комплексообразования (метод анализа комплексометрический), осаждения. Этими методами определяют содержания химических элементов от 0,1 масс. % и выше.

Фотометрические методы анализа основаны на измерении степени поглощения или рассеяния света исследуемым веществом. Данные методы позволяют определить концентрацию вещества в растворе в тех случаях, когда оно имеет собственную окраску либо приобретает окраску вследствие воздействия на него соответствующего химического реагента.

В зависимости от особенностей взаимодействия определяемого вещества со световой энергией, способа ее измерения, типа оптического прибора различают: спектрофотометрический – по поглощению монохроматического света (измерения на спектрографах), фотокolorиметрический – по поглощению полихроматического света, выделяемого светофильтрами (измерение на фотокolorиметрах), турбидиметрический и нефелометрический – по поглощению или рассеянию света взвешенными частицами, а также флюорометрический – по интенсивности флюоресценции методы люминесцентного анализа. Некоторые методы позволяют определять содержания элементов при очень низких концентрациях в пробе (до 10^{-4} – 10^{-5} масс. %).

Спектральный анализ подразделяется на следующие виды: приближенно-количественный на 43 элемента, количественный на 15 элементов, специальные методы на бор и ртуть, спектрозолотометрический. Масса проб, направляемых в лабораторию для выполнения первых трех видов анализа, должна быть не менее 15 г при максимальном размере частиц не более 1 мм. Чувствительность анализов (минимальные значения содержаний элементов в пробе, которые могут быть выявлены анализом) в зависимости от вида элемента колеблется в пределах 0,1–0,0001 %. Точность анализа, особенно при высоких содержаниях, низкая.

Спектрозолотометрический анализ – это спектральный анализ проб, обогащенных химическим путем. Чувствительность этого анализа на золото – 0,03 г/т (0,000003 масс. %). Метод может быть использован для отбраковки проб, направляемых на пробирный анализ. Для анализа требуется навеска градулометрического класса менее 0,1–1,0 мм массой не менее 50 г.

Из новейших видов спектрального анализа следует отметить атомно-абсорбционный, эмиссионный, масс-спектрометрический и др., преимущества которых заключаются в том, что для их выполнения требуются навески небольшой массы, первые миллиграммы.

Ядерно-физические методы анализа с каждым годом получают все большее развитие. Сущность их заключается в воздействии на исследуемое вещество определенного вида лучей и изучении интенсивности и спектрального состава вторичного излучения. Разработано большое количество модификаций ядерно-физических методов.

По условиям применения выделяются две группы методов: 1) γ -активационные и нейтронно-активационные на тепловых нейтронах; 2) рентгенорадиометрические, фотонейтронные и активационные с портативным оборудованием.

γ -активационными методами определяются содержания *Au*, *Ag*; нейтронно-активационными – содержания элементов с порядковым номером более 11 (*Na*). Методы обладают высокими порогами чувствительности, но требуют стационарного оборудования (атомные реакторы, ускорители заряженных частиц и т. п.).

Во второй группе методов в качестве источников облучения используются ампулы с радиоактивными изотопами: ^{75}Se , ^{109}Cd , ^{119}Sn , ^{57}Co , ^{137}Cs , ^{133}Ba и др. Методы характеризуются большой экспрессностью, но меньшей чувствительностью. Рентгенорадиометрические методы позволяют определять содержания элементов с порядковым номером более 13 (*Al*) в обнажениях, горных

выработках, скважинах. Порог чувствительности методов – 10^{-1} – 10^{-3} масс. %. Достаточно высокой чувствительностью и производительностью обладают рентгеноспектральные методы, позволяющие определять содержание почти всех химических элементов.

7.5.3. Оценка достоверности химического опробования

Надежность определения содержаний компонентов, правильное оконтуривание тел полезных ископаемых, качественный подсчет запасов в существенной степени зависят от достоверности опробования. Достоверность опробования, в свою очередь, зависит от способа опробования, геометрии проб, правильности выполнения всех операций по их отбору, обработке и анализу, а также системы опробования.

Контроль отбора и обработки проб

На месторождениях в пределах всего периода разведки и эксплуатации проводится *оперативный геологический контроль* рядового опробования, к которому, в частности, относится контроль за работой пробщика и рабочих пробоборзделочной лаборатории.

Контроль за работой пробщика включает в себя: проверку методических приемов пробоотбора; оценку соответствия ориентировки проб условиям залегания рудных тел; проверку качества опробования тел полезных ископаемых по мощности; оценку качества деления и сбора мелочи при отборе проб керна; проверку соответствия фактической массы пробы теоретической; проверку соблюдения правильности маркировки проб и ведения технической документации и др. При нарушении методики пробоотбора опробование должно быть произведено повторно, причем пробы должны быть отобраны в непосредственной близости от ранее взятых.

Количественная оценка качества пробоотбора осуществляется путем отбора, обработки и анализа контрольных сопряженных проб в количестве не менее 5 % общего числа рядовых тем же пробщиком, но под наблюдением геолога. При этом контрольные пробы должны быть более крупнообъемными, чем рядовые.

При геологическом контроле следует учитывать важную особенность опробования – его «бесповторность»: *дважды одну и ту же пробу отобрать невозможно*. Можно отобрать лишь другую пробу, непосредственно примыкающую к контролируемой. Но это все-таки будет уже другая проба. Поэтому полного совпадения результатов изучения контрольных и контролируемых

проб быть не может. Это всегда следует иметь в виду при оценке достоверности опробования.

Контроль за работой рабочего проборазделочной лаборатории заключается в проверке соответствия количества выполняемых операций принятой схеме обработки проб, в оценке качества операций методическим приемам, зафиксированным в действующей инструкции по обработке проб, которая должна быть разработана на каждом предприятии и утверждена в установленном порядке.

Методически задача оценки достоверности отдельных операций опробования решается одинаково путем проведения сопряженных контролируемых и контрольных измерений. Чтобы обеспечить статистическую устойчивость исследуемой выборки, число сопряженных пар измерений изучаемого свойства должно быть не менее 30.

Оценка результатов исследований выполняется статистическими методами по одним и тем же формулам путем расчетов случайных и систематических погрешностей. При этом в качестве критерия достоверности указанных операций принимаются значения предельно допустимых относительных среднеквадратических погрешностей анализов, регламентируемых Методическими рекомендациями... (2007). Заметим, что нижеприведенные формулы применимы не только при обработке результатов опробования, но и при решении других геологических задач, связанных с сопоставлением контрольных и контролируемых измерений.

Контроль качества аналитических работ

Под качеством лабораторных исследований понимают соответствие результатов аналитических работ установленным требованиям к их полноте и достоверности. Качество аналитических работ необходимо систематически проверять, а результаты контроля своевременно обрабатывать в соответствии с методическими указаниями НСАМ (Научный совет по аналитическим методам) и ОСТ 41–08–272–04.

Геологический контроль анализов проб осуществляется независимо от лабораторного контроля. Контролю подлежат результаты анализов на все основные, попутные компоненты и вредные примеси. Геологический контроль подразделяется на *внутренний, внешний и арбитражный*.

Внутренний контроль проводится для определения случайных погрешностей анализов. Он осуществляется путем анализа зашифрованных контрольных проб, отобранных из дубликатов лабораторных (аналитических) проб, в

той же лаборатории, которая выполняет основные анализы. На внутренний контроль следует направлять все пробы, показавшие аномально высокие содержания анализируемых компонентов.

Внешний контроль проводится для выявления и оценки систематических погрешностей анализов основной лаборатории. Контроль осуществляется в лаборатории, аттестованной на указанный вид деятельности. На внешний контроль направляются дубликаты зашифрованных аналитических проб, прошедших внутренний контроль. При наличии стандартных образцов состава (*СОС*) и стандартных образцов предприятия (*СОП*) их также следует включать в зашифрованном виде в партию контрольных проб. Пробы, направляемые на внешний контроль, должны характеризовать все разновидности руд месторождения и классы содержаний.

Объем внутреннего и внешнего контроля должен обеспечивать представительность выборки по каждому классу содержаний и периоду выполнения анализов (квартал, полугодие, год). При большом числе проб (2000 и более в год) на внутренний и внешний контроль направляется 5 % их общего количества, при меньшем числе проб по каждому выделенному классу содержаний должно быть выполнено не менее 30 контрольных анализов за контролируемый период.

Обработка данных внутреннего и внешнего контроля производится по периодам (квартал, полугодие, год). Относительная среднеквадратическая погрешность по результатам внутреннего контроля не должна превышать предельно допустимых значений (δ^*). В противном случае результаты основных анализов бракуют и все пробы подлежат повторному анализу с выполнением внутреннего контроля. Одновременно должны быть выяснены причины брака и приняты меры по его устранению.

Арбитражный контроль проводится при выявлении систематических расхождений по данным внешнего контроля. Арбитражные анализы выполняются в аттестованной лаборатории, имеющей право осуществлять указанный вид анализов. На арбитражный контроль направляются дубликаты рядовых проб, по которым имеются результаты внутренних и внешних контрольных анализов. Контролю подлежат 30–40 проб по каждому классу содержаний. В партию проб, сдаваемых на арбитражный контроль, следует включать *СОС*. При подтверждении арбитражными анализами систематических расхождений следует выяснить их причины, разработать мероприятия по их устранению и решить вопрос о необходимости повторных анализов или о

введении в результаты анализов соответствующих поправочных коэффициентов. Без проведения арбитражного контроля введение поправочных коэффициентов не допускается.

Обработка данных внутреннего контроля. Случайная погрешность выявляется путем сопоставления основного (контролируемого) и контрольного анализов, выполненных в одних и тех же условиях.

Расчеты ведутся в следующей последовательности. Вначале по результатам основного и контрольного анализов определяется среднеквадратическая погрешность (S)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - V_i)^2}{2n}},$$

где C_i – содержание компонента по основному анализу в i -й пробе; V_i – содержание компонента по контрольному анализу в i -й пробе; n – число контрольных проб; $i = 1, 2, 3, \dots, n$.

Затем вычисляется относительная среднеквадратическая погрешность (δ)

$$\delta = \frac{S}{\bar{v}} \cdot 100\%,$$

где $\bar{v}$ – среднее содержание компонента по совокупности, объединяющей результаты контролируемых и контрольных анализов:

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i + \sum_{i=1}^n V_i}{2n}.$$

Вычисленная указанным способом величина относительной среднеквадратической погрешности не должна превышать предельно допустимой относительной среднеквадратической погрешности (δ^*) для данного класса содержаний. Предельные значения погрешностей для некоторых компонентов, позаимствованные из Методических рекомендаций... (2007), приведены в табл. 7.8.

Таблица 7.8

Предельно допустимые относительные среднеквадратические
погрешности химических анализов (δ^*)

Компонент	Класс содержаний*, масс. доля, %	Погреш- ность δ^* , %	Компонент	Класс содержаний*, масс. доля, %	Погреш- ность δ^* , %
1	2	3	1	2	3
$Fe_{общ.}$	>45	1,5	Mn	3–6	3,5
	30–45	2,0		0,5–3,0	6
	20–30	2,5		0,2–0,5	10
	10–20	3,0		0,1–0,2	13
FeO	>17	3,5		0,05–0,1	20
	12–17	4,0	CaO	7–20	6
	5–12	5,5		1–7	11
	3,5–5	10		0,5–1	15
	<3,5	20		0,2–0,5	20
$Fe_{магн.}$	>45	1,5		<0,2	30
	30–45	2,0	S	1–2	9
	20–30	3,0		0,5–1	12
	10–20	4,0		0,3–0,5	15
SiO_2	5–20	5,5		0,1–0,3	17
	1,5–5	11		0,05–0,1	20
MgO	1–10	9		0,01–0,05	30
	0,5–1,0	16		0,001–0,01	30
	0,05–0,5	30	P_2O_5	>1,0	2,5
	<0,05	30		0,3–1,0	5,5
Cr_2O_3	10–20	2,5		0,1–0,3	8,5
	5–10	3		0,05–0,1	12
	1–5	5		0,01–0,05	22
	0,1–1,0	8,5		0,001–0,01	30

1	2	3	1	2	3
<i>Ni</i>	0,5–1,0	7,0	<i>As</i>	>2	3
	0,2–0,5	10		0,5–2,0	6
	0,02–0,2	20		0,05–0,5	16
<i>Co</i>	0,05–0,1	10		0,01–0,05	25
	0,01–0,05	25		<0,01	30
<i>TiO₂</i>	>15	2,5	<i>B₂O₃</i>	3–10	7
	4–15	6		1–3	10
	1–4	8,5		0,1–1,0	22
	<1	17		<0,1	30
<i>V₂O₅</i>	0,5–1,0	12	<i>Cu</i>	1–3	5,5
	0,2–0,5	15		0,5–1,0	8,5
	0,1–0,2	20		0,2–0,5	13
	0,01–0,1	25		0,1–0,2	17
	<0,01	30		<0,1	25

*Если выделенные на месторождении классы содержаний отличаются от указанных, то предельно допустимые относительные среднеквадратические погрешности определяются интерполяцией.

Если $\delta \leq \delta^*$, то воспроизводимость по данным контрольных анализов считается удовлетворительной. Если $\delta > \delta^*$ – воспроизводимость неудовлетворительная, что требует принятия соответствующих решений.

Случайная погрешность способа опробования, возникающая под влиянием природной изменчивости руд, а также погрешностей отбора, обработки и анализа проб, вызывает преимущественно локальные ошибки в представлениях об особенностях морфологии и внутреннего строения залежей и качестве полезного ископаемого. Однако в большинстве случаев она не приводит к неправильной оценке промышленного значения месторождения. Это обусловлено тем, что случайные погрешности разного знака взаимно компенсируются, а средняя абсолютная погрешность при увеличении числа проб стремится к нулю.

Обработка данных внешнего контроля. Систематическая погрешность выявляется путем сопоставления результатов контролируемого (*C*) и контрольного (*U*) анализов, выполненных в разных условиях. Причем контрольный анализ должен быть сделан с повышенной точностью. Сущность систематической погрешности заключается в том, что содержания компонентов в большинстве контролируемых проб или завышены, или занижены (рис. 7.15).

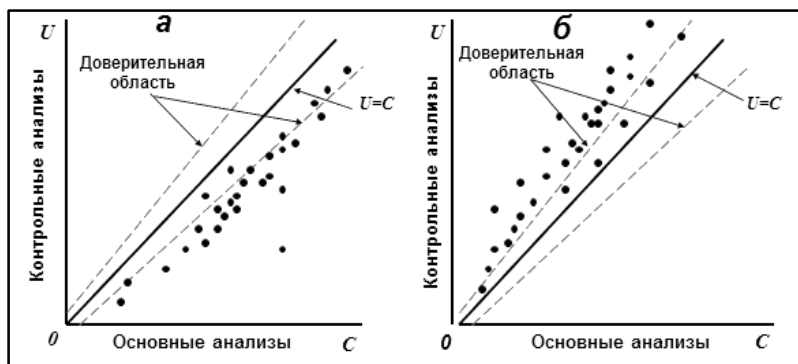


Рис. 7.15. График корреляции результатов основных и контрольных анализов:
а – основная лаборатория систематически завышает содержания компонента;
б – основная лаборатория систематически занижает содержания компонента

Расчеты ведутся в следующей последовательности. Вычисляется:

- среднее содержание компонента по результатам анализов проб в основной лаборатории

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n},$$

где C_i – содержание компонента по основному анализу в i -й пробе; n – число контрольных проб; $i = 1, 2, 3, \dots, n$;

- абсолютное систематическое расхождение ($\bar{d}$)

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - U_i)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n},$$

где U_i – содержание компонента по контрольному анализу в i -й пробе;

- относительное систематическое расхождение (Δ)

$$\Delta = \frac{|\bar{d}| \cdot 100}{\bar{C}} \%.$$

Далее производится оценка значимости систематического расхождения с помощью t -критерия (распределение Стьюдента):

$$t_{\text{эксн}} = \frac{|\bar{d}| \cdot \sqrt{n}}{S_d},$$

где S_d – выборочное среднеквадратическое отклонение, рассчитанное по формуле

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}}.$$

Если значение $t_{\text{экс.}}$ больше или равно $t(t_{\text{экс.}} \geq t)$, то систематическое расхождение между основными и контрольными анализами считается доказанным. Согласно Инструкции... (1982) допустимое значение t -критерия находится по таблицам распределения Стьюдента (табл. 7.9). при уровне значимости 0,05 (5 %) При этом количество степеней свободы (f) выбирается в зависимости от количества контрольных проб (n): $f = n-1$. При количестве проб равном 30 и более значение t -критерия можно принимать равным 2, а при количестве проб более 100 – 1,96.

Таблица 7.9

Значения t -критерия Стьюдента для уровня значимости 0,05

Степень свободы f	Коэффициент t	Степень свободы f	Коэффициент t	Степень свободы f	Коэффициент t
1	12,706	11	2,201	22	2,074
2	4,303	12	2,179	24	2,064
3	3,182	13	2,160	26	2,056
4	2,776	14	2,145	28	2,048
5	2,571	15	2,131	30	2,042
6	2,447	16	2,120	35	2,032
7	2,365	17	2,110	40	2,021
8	2,306	18	2,101	50	2,009
9	2,262	19	2,093	100	1,984
10	2,228	20	2,086	∞	1,960

При подтверждении арбитражным контролем наличия систематической погрешности в результаты анализов основной лаборатории вводится поправка с помощью поправочного коэффициента K следующим образом:

$$C_i^{\text{исп.}} = K \cdot C_i,$$

где $K = \frac{100 - \Delta}{100}$, $C_i^{\text{исп.}}$ – исправленный результат основного анализа i -й пробы. При расчете поправочного коэффициента K необходимо учитывать знак Δ .

Если величина систематической погрешности результатов основных анализов проб для всех классов содержаний по разрезу или подсчетному блоку практически постоянна, то соответствующую поправку можно вводить в среднее содержание по разрезу или блоку.

Обработка данных внешнего (арбитражного) контроля путем расчетов уравнений регрессии. В ряде руководств введение поправок при обнаружении систематических погрешностей рекомендуется осуществлять с помощью уравнений простой регрессии. При линейной зависимости между параметрами уравнения простой регрессии вычисляются в следующей последовательности.

Определяются:

– средние содержания компонента $\bar{C}$ и $\bar{U}$ по данным основных и контрольных анализов

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}, \bar{U} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n};$$

– выборочные среднеквадратические отклонения S_c и S_u

$$S_c = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{n-1}}, S_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - \bar{U})^2}{n-1}};$$

– коэффициент парной корреляции r

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \cdot U_i - \bar{C} \cdot \bar{U}}{S_c \cdot S_u} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C}) \cdot (U_i - \bar{U})}{S_c \cdot S_u}.$$

Как известно, по указанным статистикам можно рассчитать два уравнения простой регрессии: $U = f(C)$ и $C = f(U)$:

$$U = r \frac{S_u}{S_c} (C - \bar{C}) + \bar{U} \quad C = r \frac{S_c}{S_u} (U - \bar{U}) + \bar{C}.$$

Эти уравнения неравносильны; они тождественны лишь при функциональной зависимости между параметрами, когда коэффициент корреляции равен +1 или -1 (рис. 7.16). При этом они далеко не лучшим образом описывают поле корреляции измерений, особенно при низких значениях коэффициентов корреляции.

Более совершенным способом установления систематических погрешностей и введения поправок для их исключения является разработанный В. Ф. Мягковым (1984) метод, основанный на исключении выдающихся значений и расчете уравнения ортогональной среднеквадратической регрессии. Метод позволяет учитывать всю совокупность сопоставляемых контрольных и контролируемых анализов независимо от классов содержаний. Расчеты ведутся в следующей последовательности.

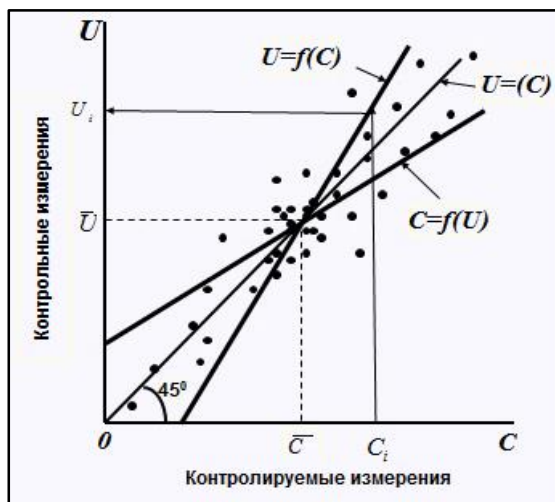


Рис. 7.16. Графики уравнений простой регрессии: стрелками показана схема замены контролируемых измерений (C_i) контрольными (U_i)

Вначале по исходной паре значений, как и при использовании уравнения простой регрессии, рассчитываются средние содержания $\bar{C}$ и $\bar{U}$ по результатам основного и контрольного анализов, соответствующие им среднеквадратические отклонения S_c и S_u и коэффициент корреляции r . Далее для исключения выдающихся значений вычисляется уравнение контурного эллипса

$$\frac{1}{1-r^2} \left[\frac{(C-\bar{C})^2}{S_c^2} + \frac{(U-\bar{U})^2}{S_u^2} - \frac{2r}{S_c \cdot S_u} (C-\bar{C}) \cdot (U-\bar{U}) \right] = \chi^2.$$

Значение χ^2 выбирается исходя из заданного уровня значимости p . В частности, при $p = 0,05$ (т. е. 95 %-ной доверительной вероятности) $\chi^2 = 6,0516$. Доверительная вероятность, равная 95 %, является общепринятой при технических расчетах. Для рассматриваемого случая это означает, что 95 точек из 100 будут находиться в пределах контурного эллипса. Находящиеся за его пределами значения с вероятностью 95 % могут считаться аномальными, появление которых может быть обусловлено грубыми ошибками анализов контролируемых или контрольных проб.

После исключения выдающихся значений оставшаяся совокупность сопоставляемых проб n' считается свободной от грубых ошибок. Для нее по формулам, аналогичным вышеприведенным, вычисляются новые средние содержания C_{cp} и U_{cp} , соответствующие им среднеквадратические отклонения S_c' и S_u' и коэффициент корреляции r' . На основе этих данных рассчитывается уравнение ортогональной среднеквадратической регрессии, представляющее собой большую ось эллипса рассеяния измерений. Это уравнение является единственным (в отличие от уравнений простой регрессии) и наилучшим

образом описывает статистическую совокупность. Расчет уравнения ведется по формуле

$$U = k(C - C_{cp}) + U_{cp},$$

где $k = \operatorname{tg} \alpha$ – угловой коэффициент уравнения, определяемый по формуле

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2r' \cdot S_c' \cdot S_u'}{S_c'^2 - S_u'^2}.$$

Некоторые трудности возникают при определении значений $\operatorname{tg} \alpha$ через тангенс двойного угла. Следует иметь в виду, что тангенс в I и III четвертях имеет положительные значения, а во II и IV – отрицательные. Величина угла 2α зависит от знаков r' и $\operatorname{tg} 2\alpha$ (табл. 7.10).

Таблица 7.10

Распределение угла 2α в зависимости
от знака коэффициента корреляции r' и $\operatorname{tg} 2\alpha$

r'	$\operatorname{tg} 2\alpha$	Четверть	Формула расчета через острый угол β
$r' > 0$	$\operatorname{tg} 2\alpha > 0$	I	$2\alpha = \beta$
$r' > 0$	$\operatorname{tg} 2\alpha < 0$	II	$2\alpha = 180^\circ - \beta$
$r' < 0$	$\operatorname{tg} 2\alpha > 0$	III	$2\alpha = 180^\circ + \beta$
$r' < 0$	$\operatorname{tg} 2\alpha < 0$	IV	$2\alpha = 360^\circ - \beta$

Результаты расчетов оформляются в виде графика корреляции в системе координат (C, U) . На графике (рис. 7.17) изображаются: исходные данные, контурный эллипс, уравнение ортогональной среднеквадратической регрессии; уравнение $U = f(C)$, проходящее под углом 45° к координатным осям и соответствующее идеальной сходимости результатов основных и контрольных анализов; доверительная область, границы которой симметричны относительно уравнения $U = f(C)$, а их положение выбрано в соответствии со значениями предельно допустимых относительных погрешностей по классам содержаний, приведенными в «Методических рекомендациях..., 2007».

Окончательное решение принимается на основе анализа положения графика уравнения ортогональной среднеквадратической регрессии относительно доверительной области. Если в интервале изучаемых содержаний компонента график находится в пределах доверительной области, то воспроизводимость результатов контролируемых и контрольных измерений считается удовлетворительной. Если график выходит за пределы доверительной области, сходимость неудовлетворительная. С помощью описанной процедуры можно

не только установить систематическое завышение или занижение содержаний в основной лаборатории, но и выявить случаи, когда при низких содержаниях происходит завышение (занижение) концентраций компонентов, а при высоких – их занижение (завышение).

Если график уравнения ортогональной среднеквадратической регрессии (на чертеже $C = f_1(U)$) не выходит за пределы доверительной области – систематическая погрешность статистически не значима. Если график уравнения $U = f_2(C)$ выходит за пределы доверительной области – систематическая погрешность статистически значима. В этом случае содержание компонента C_i в пробе, находящейся за пределами доверительной области, следует заменить на U_i .

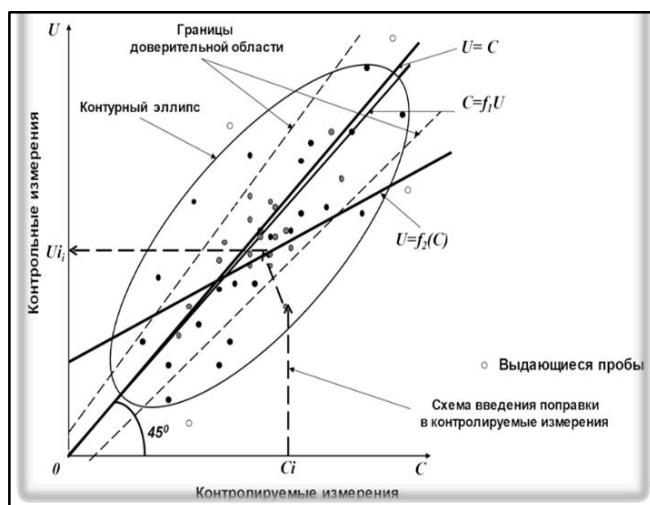


Рис. 7.17. График корреляции контрольных (U) и контролируемых (C) измерений

7.6. Техническое опробование

Техническое опробование проводится с целью выявления физико-механических свойств полезных ископаемых и вмещающих горных пород. По назначению эти свойства делятся на три группы: 1) используемые при подсчете запасов; 2) при выборе технических средств и технологии геологоразведочных и добычных работ; 3) для оценки свойств минерального сырья, определяющих его промышленную ценность.

1. *Техническое опробование, проводимое для определения параметров, учитываемых при подсчете запасов.* Такими характеристиками полезных ископаемых являются объемная масса, влажность и пористость.

Объемная масса – это плотность полезного ископаемого в недрах с учетом пор, трещин, капилляров и естественной влажности. Является важнейшим параметром, входящим в основную формулу подсчета запасов полезных ископаемых, когда они подсчитываются в единицах массы. Объемную массу выражают в следующих единицах измерения: г/см³, кг/дм³, т/м³.

Объемная масса зависит от минерального состава полезного ископаемого и по этой причине должна определяться для каждого минерального типа руды. Каждый минеральный (промышленный) тип руды, учитываемый при подсчете запасов, следует охарактеризовать не менее чем 25–30 определениями объемной массы. Применяются следующие способы определения параметра: метод выемки монолита из целика, лабораторный и косвенные методы.

Метод выемки монолита из целика используется для относительно мягких полезных ископаемых. Сущность его заключается в том, что в полезном ископаемом проходится горная выработка и весь вынутый с заданного интервала уходки материал направляется в валовую пробу. Путем взвешивания определяется масса пробы (m), а объем (V) выработки тщательно измеряется с помощью рулетки. Объемная масса (d) рассчитывается по формуле

$$d = m / V.$$

Определение объемной массы лабораторным методом производится на штучных пробах массой 100–200 г. Для этого предварительно взвешенный в воздухе штуч подвешивается на тонкой проволоке и погружается в специальный сосуд с водой (рис. 7.18). Вытесненная вода, равная объему образца, сливается через трубку в подставленную под сосуд мензурку, по шкале которой определяется объем образца.

Для пористых и трещиноватых руд объемная масса определяется с предварительным парафинированием образцов. Образец после взвешивания погружается на 1 с в расплавленный парафин. Повторное взвешивание дает возможность определить массу парафина. Расчет объемной массы (d) ведется по формуле

$$d = \frac{m_1}{V - \frac{m_2 - m_1}{\gamma_n}},$$

где m_1 – масса исходного образца; m_2 – масса парафинированного образца; V – объем парафинированного образца; γ_n – плотность парафина.

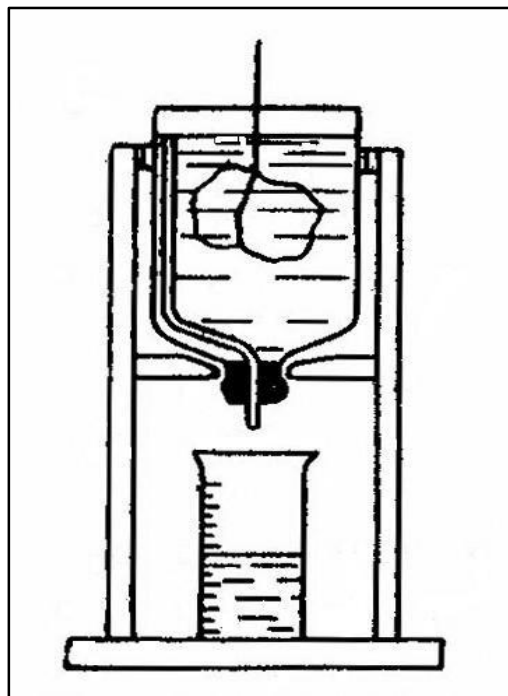


Рис. 7.18. Прибор для определения
объемной массы руд и пород
(по М. Н. Альбову, 1975)

Лабораторные определения объемной массы по сравнительно небольшим образцам могут несколько завышать истинное значение объемной массы руды в недрах, так как они не учитывают влияния микротрещин, пустот и каверн. По этой причине оценки объемной массы, определенные лабораторным способом, необходимо заверять методом выемки монолита из целика или методами ядерной геофизики, в частности, методом ГГК-П (гамма-гамма-каротаж плотностной).

Объемная масса может быть определена и косвенными методами по графикам (уравнениям) зависимости параметра от содержаний главных компонентов. Такая зависимость характерна для руд месторождений тяжелых металлов, содержания которых в рудах составляют десятки масс. % (месторождения железа, хрома). Для установления зависимости предварительно необходимо провести экспериментальные исследования, определив для одних и тех же образцов объемную массу и концентрацию главного компонента. Пример такой зависимости приведен на рис. 7.19.

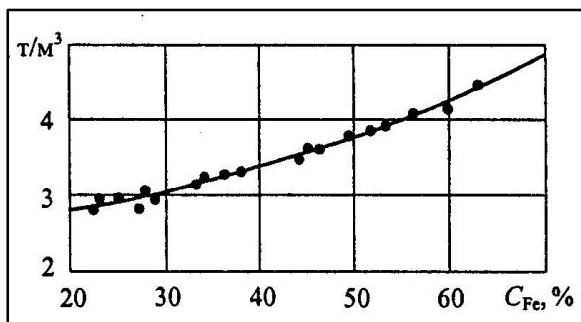


Рис. 7.19. График зависимости объемной массы руды от содержаний железа (по Г. С. Порозову, 2004)

Косвенное определение объемной массы может быть осуществлено и с помощью уравнений множественной линейной регрессии. Весьма интересными в этом отношении представляются исследования В. И. Набиуллина (2015), выполненные по Талицкому участку Верхнекамского месторождения солей. Расчеты показали, что между объемной массой и содержаниями пяти главных компонентов сильвинитовых руд существует очень тесная корреляционная связь: множественный коэффициент корреляции равен 0,922. Уравнение множественной регрессии для определения объемной массы сырых сильвинитовых руд имеет вид:

$$d = 0,2062KCl + 0,01255MgCl_2 + 0,02252NaCl + 0,02058CaSO_4 + 0,02363HO - 0,12046,$$

где d – расчетная объемная масса сильвинитовых руд ($г/см^3$); KCl , $MgCl_2$, $NaCl$, $CaSO_4$, HO – содержания основных компонентов сильвинитов (масс. доля, %).

Определение влажности. Руды в естественном залегании содержат влагу, которая, как указано выше, учитывается при определении объемной массы. Так, влажность плотных руд (скарново-магнетитовых, сульфидных полиметаллических, кварц-золото-сульфидных и т. п.) составляет 2–5 %; влажность менее плотных руд (бурых железняков, оксидных марганцевых, силикатных никелевых) может достигать 25–35 %. В то же время содержания компонентов определяются в долях сухой руды. По этой причине при подсчете запасов вводится поправка на влажность полезного ископаемого.

Влажность определяют параллельно с определением объемной массы. Для этого отобранную пробу массой около 500 г разбивают на кусочки размером не более 1–2 см и взвешивают для определения массы (m_1). Затем ее помещают в сушильный шкаф и выдерживают при температуре не более 110 °С до постоянной массы (m_2). Расчет влажности (w) выполняется по формуле

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100\%.$$

2. *Техническое опробование для установления свойств, определяющих выбор технических средств и технологии геологоразведочных и добычных работ.* Важнейшей характеристикой пород и руд является их прочность, т. е. свойство воспринимать воздействия механических нагрузок не разрушаясь. Показателями прочности являются пределы прочности пород на сжатие, растяжение, сдвиг, изгиб, а также текучесть, ползучесть и др. Для характеристики прочностных свойств горных пород и руд пользуются понятием крепость. Для ее количественной оценки используют коэффициент крепости, значение которого определяется по образцам эмпирическим путем по величине временного сопротивления одноосному сжатию или относительной оценке работы, затраченной на дробление. Величина коэффициента крепости положена в основу классификации пород по крепости, предложенной М. М. Протоdjаконовым.

Деформационные свойства горных пород и руд в сухом и водонасыщенном состоянии определяются их упругостью, вязкостью, пластичностью, способностью к размоканию, набуханию, пучению, оплыванию. В качестве количественных показателей упругих деформаций обычно используются модуль упругости и коэффициент Пуассона, а пластических деформаций – модуль деформации, величины которых оцениваются по изменению объема пород, вызванного нагрузками.

Главными физико-механическими свойствами отбитой руды и продуктов ее переработки являются гранулометрический состав, коэффициент разрыхления, насыпная плотность, дробимость, измельчаемость, абразивность, для сыпучих материалов – слеживаемость.

Гранулометрический состав. Полезное ископаемое, извлеченное из недр, представляет собой механическую смесь обломков различной крупности. Соотношение обломков разных классов крупности учитывается при выборе способа передела руды, режима работы обогатительной фабрики и т.п. Гранулометрический состав добытого полезного ископаемого определяется путем отбора валовых проб объемом 2–3 м³ и последующего их грохочения с взвешиванием как проб в целом, так и отдельных гранулометрических фракций. Используют от трех до шести грохотов с ручным или механическим приводом, имеющих отверстия 100, 75, 50, 20, 10, 5 мм. Следует иметь в виду, что хрупкие минералы в процессе дробления могут переизмельчаться, что приводит к обогащению ими мелких фракций.

Добытые руды, металлоносные пески занимают больший объем, нежели то же их количество в естественном залегании. Это должно учитываться при расчетах необходимого количества емкостей транспортных сосудов (вагонов, скипов, бункеров и т. п.). Для этих целей определяется *коэффициент*

разрыхления (K_p) – отношение объема отбитой руды или горной породы (V_2) к ее объему в целике (V_1):

$$K_p = \frac{V_2}{V_1}.$$

Замер объема отбитой (вынутой) руды ведется с помощью мерных ящиков, а объема выработанного пространства – с помощью рулетки. Коэффициент разрыхления всегда больше 1,0. Например, коэффициент разрыхления песков обычно составляет 1,05–1,2; бурых углей – 1,02–1,4; скальных пород – 1,4–2,5.

Оценка механических и горнотехнических свойств пород и руд в массиве производится путем натурных наблюдений и испытаний в горных выработках, реже в скважинах либо по результатам лабораторных испытаний образцов и монолитов.

3. Техническое опробование для оценки свойств полезных ископаемых, определяющих их промышленную ценность. Для большинства рудных полезных ископаемых основным свойством, определяющим их промышленную ценность, является концентрация химических компонентов. Для нерудных полезных ископаемых эти свойства достаточно специфичны и отличаются большим разнообразием. Для мусковита, например, это размер и электросопротивление кристаллов; для каменного угля – калорийность и зольность; для асбеста – длина волокна, прочность, кислотоупорность и жаропрочность; для драгоценных камней – размер кристаллов, отсутствие дефектов; декоративность, полируемость – для ювелирно-поделочных камней и др. Способы отбора, подготовки и испытания проб по отдельным видам полезных ископаемых регламентируются специальными стандартами и техническими условиями.

Разделение полезных ископаемых на типы и сорта в соответствии с потребительскими свойствами может проводиться как на месте их залегания в недрах, так и в процессе переработки. В первом случае количественные характеристики физических свойств используются при оконтуривании природных разновидностей, технологических типов и сортов полезного ископаемого с целью их селективной выемки. Техническое опробование при этом, по существу, выполняет функции рядового и проводится по всем разведочным пересечениям с отбором бороздовых и штучных проб. Когда же товарная продукция получается в процессе переработки полезного ископаемого, техническому опробованию подвергаются продукты переработки – камень-сырец, концентраты минералов, материал различных фракций крупности после отсева и т. д. При этом техническое опробование совмещается с технологическим и товарным опробованием, а для изучения физических свойств сырья используется материал валовых проб.

7.7. Минералогическое опробование

Минералогическое опробование проводится с целью определения минеральных форм нахождения полезных компонентов в рудах, их количественно-минералогического состава, распределения минералов по различным природным, промышленным типам и сортам руд, изучения текстурно-структурных особенностей оруденения, его генезиса, для оценки распределения химических компонентов по отдельным минеральным видам.

Отбор проб на коренных объектах ведется преимущественно штучным способом. Обычно отбираются образец для визуального макроскопического изучения полезного ископаемого и образец для исследования под микроскопом и прецизионными методами. Для определения количественно-минералогического состава каждый природный тип полезного ископаемого следует охарактеризовать не менее чем тридцатью равномерно отобранными в пределах залежей пробами. Не допускается включение результатов исследования образцов, содержащих редкие минеральные образования, в общую совокупность. Такие экзотические образования обычно используются лишь для изучения генезиса полезного ископаемого и других научных целей. Подготовка проб для последующих исследований ведется путем изготовления из них полированных штучков, шлифов, аншлифов (полировок), протолок и т. п.

Отбор проб при изучении россыпных объектов выполняется валовым или бороздовым способом. Выбор способа опробования определяется характером распределения полезных минералов и уровнем их концентрации в полезном ископаемом. Минералогическое опробование при изучении россыпей является ведущим, так как концентрацией основных полезных минералов в существенной степени определяется их ценность. Отобранные пробы перед изучением подвергаются обогащению (промывке) и различным видам сепарации.

Для изучения особенностей и глубины распространения зоны окисления, выделения и оконтуривания природных и технологически типов и сортов руд (по степени окисленности, минеральному составу, текстурным и структурным признакам и др.) проводятся специальные минералогические исследования. Минеральный состав руд и вмещающих пород, их текстурно-структурные особенности, физические свойства минералов изучаются с применением минералогических, минераграфических, петрографических, химических, физических и других видов анализа. Особое внимание уделяется минералам основных компонентов: определяется их химический состав, размер зерен, распределение по классам крупности, формы связи между собой и другими минералами (наличие и

размеры сростков, характер срастания). В процессе минералогических исследований изучается распределение основных, попутных химических компонентов, а также вредных примесей по минеральным формам нахождения.

Всесторонние минералогические исследования имеют большое значение для решения целого ряда научных вопросов, в частности, для установления генезиса месторождений, определения технологических свойств сырья и сфер его применения, а также для решения проблем охраны окружающей среды при эксплуатации месторождений.

При исследовании проб применяются визуальный, весовой и расчетный способы определения количественно-минералогического состава полезного ископаемого.

В большинстве случаев количественно-минералогические подсчеты ведутся под микроскопом линейным или площадным способами. Крупно- и гигантозернистые руды могут изучаться без микроскопа. Линейный способ заключается в измерении длин линий, приходящихся на каждый минерал, с помощью интеграционного столика или автоматической установки «Контраст», работающей с помощью светового зонда, сканирующего поверхность шлифа (аншлифа) с выводом информации на экран дисплея. Площадной способ заключается в измерении площадей минералов в поле микроскопа с помощью квадратных или точечных насадок, т. е. реализуется растровое графическое изображение. Принимается, что объем, занимаемый минералом, пропорционален измеренной длине или площади. Для определения массовой доли объемная доля минерала умножается на его плотность. Можно использовать также специально разработанные для этих целей диаграммы (рис. 7.20).

В шлихах визуально можно оценить количество зерен каждого минерала во фракции определенного размера. Более трудоемкой является операция определения количества зерен минерала путем его непосредственной выборки из бороздки, состоящей из 200–500 зерен, насыпанной на предметное стекло. Содержание минерала принимается пропорциональным количеству его зерен.

Точность количественно-минералогических подсчетов зависит от числа замеров и обычно для отдельных шлифов (аншлифов) не превышает 5 %. Осреднение результатов по совокупности из нескольких десятков проб обеспечивает вполне удовлетворительную точность оценки минерального состава руд.

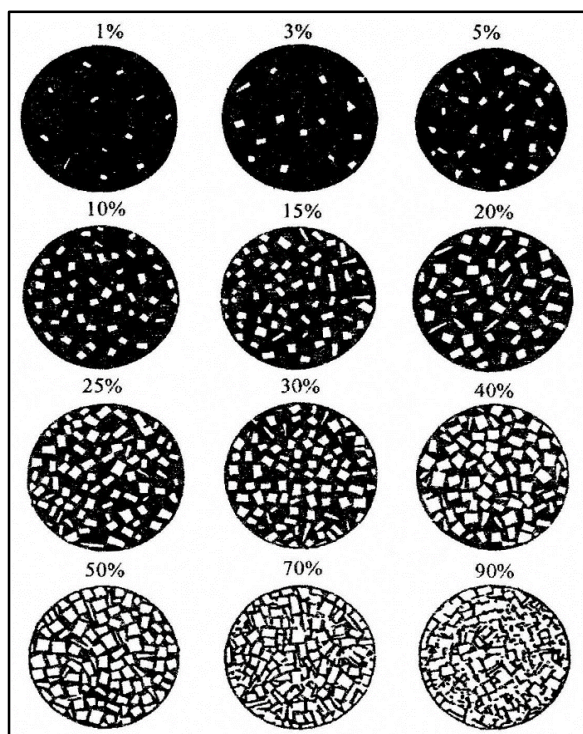


Рис. 7.20. Диаграмма для количественной оценки рудных минералов в полированных шлифах (по С. А. Вахромееву)

Весовой способ оценки количественно-минералогического состава используется для рыхлых полезных ископаемых, преимущественно для россыпей, или при изучении протокочек, полученных путем дробления коренных пород. Выделение минералов ведется путем промывки, магнитной, электромагнитной сепарации, флотации, разделения в тяжелых жидкостях, отдувкой и т. д. Содержание минерала определяется как отношение массы минерала к массе пробы или ее объему. В первом случае полученное значение выражают в кар/т, г/т, масс. %; во втором – в кар/м³, мг/м³, г/м³, кг/м³.

Расчетный способ основан на связи между минеральным и химическим составами. Если известен химический состав руды, то его можно пересчитать на минеральный, пользуясь теоретическими формулами минералов. Метод может дать удовлетворительные результаты лишь тогда, когда полезный компонент входит в состав одного минерала.

Пример. Пусть медь в руде представлена только халькопиритом. По результатам химического анализа содержание меди в руде равно C_{Cu} . Атомная масса халькопирита ($CuFeS_2$) равна $64 + 56 + 32 \times 2 = 164$. Определим, во сколько раз масса халькопирита больше массы содержащейся в нем меди: $164 : 64 = 2,87$. Отсюда, массовая доля халькопирита (C_{cp}) равна:

$$C_{cp} = C_{Cu} \times 2,87.$$

При множественности минеральных форм нахождения полезных компонентов, особенно в тех случаях, когда компоненты не образуют самостоятельных минералов, проводится так называемый *фазовый анализ*. Фазовый анализ позволяет установить, как компонент распределен по отдельным минеральным видам. Для этого пробы плотных руд предварительно дробятся, а рыхлые сразу же подвергаются различным видам сепарации для получения мономинеральных фракций. Наиболее точным способом выделения монофракций является визуальный с помощью бинокулярного микроскопа. Монофракции массой 1–10 г подвергаются химическому анализу. На основе этих данных рассчитывается баланс распределения компонента по отдельным минеральным видам. Пример расчетов приведен в табл. 7.11.

Таблица 7.11

Пример расчета баланса распределения *Ag* в полиметаллической руде
(по Г. С. Порозову, 2004)

Минерал	Содержание минерала в руде, масс. доля, %	Содержание <i>Ag</i> в минерале, г/т	Произведение содержаний, деленное на 100	Баланс распределения <i>Ag</i> , %
Пирит	45	20	9,0	21,6
Халькопирит	5	130	6,5	15,6
Сфалерит	10	10	1,0	2,4
Галенит	6	420	25,2	60,4
Сумма нерудных	34	0	0,0	0,0
Руда в целом	100		41,7	100

Результаты расчетов свидетельствуют о том, что главным минералом, содержащим *Ag*, является галенит, с которым связано 60,4 % запасов серебра. И именно галенит является основным потенциально перспективным минералом, из которого может быть налажено промышленное извлечение благородного элемента.

Минералогическое опробование является основным видом опробования при изучении месторождений камнесамоцветного, пьезооптического (горный хрусталь, оптический флюорит, исландский шпат, алмаз, агат, нефрит и др.) и горнотехнического (слюда, асбест) сырья. Многие методы исследования, применяемые при минералогическом опробовании, используются при изучении технических и технологических проб.

7.8. Технологическое опробование

Извлеченное из недр полезное ископаемое в первичном виде обычно не пригодно для практического использования и не является товарной продукцией. Для превращения в товарную продукцию оно подвергается переработке, в том числе обогащению. Основным назначением технологического опробования является создание (уточнение) рациональной схемы переработки минерального сырья. В процессе технологического опробования оцениваются показатели переработки полезного ископаемого: оптимальный режим обогащения, выход продукции, извлечение полезных компонентов, качество продукции. Определяется необходимый расход воды, энергии, реагентов, флюсов и других материалов.

Важнейшей задачей технологических исследований является определение экономических показателей переработки минерального сырья, которые прямо влияют на геолого-экономическую оценку месторождения. Результаты технологического опробования используются при разработке технико-экономического обоснования (ТЭО) разведочных и эксплуатационных кондиций, составлении технических проектов строительства обогатительных фабрик (цехов), перспективном планировании горных работ и управлении качеством минерального сырья на действующих горнодобывающих предприятиях.

По результатам технологического опробования осуществляется картирование технологических типов и сортов руд в недрах, оценивается возможность комплексного использования минерального сырья и решаются вопросы утилизации отходов.

Решающее значение при выборе способов переработки (обогащения), помимо физических свойств, имеют крупность рудных минералов, характер их выделений, текстурно-структурные особенности. Сплошные массивные руды, например, магнетитовые руды с содержанием железа более 50 масс. %, могут использоваться без обогащения, но к ним предъявляются требования по размеру кусков. Мелочь подвергается агломерации (спеканию) для получения рудных окатышей стандартного размера. Весьма крупнозернистые руды могут обогащаться с помощью ручной рудоразборки, сухой магнитной сепарации, промывки (применяется для глинистых руд). Крупно- и среднезернистые руды обогащаются в тяжелых средах (жидкостях) с использованием мокрой магнитной сепарации. Тонкозернистые руды подвергаются флотации. Микрозернистые и коллоидно-дисперсные руды механическими способами не обогащаются. Они требуют полного растворения полезных минералов или других сложных способов обогащения (амальгамация, использование ионообменных смол и др.).

Вследствие дороговизны эти способы экономически выгодно использовать лишь для высокоценных полезных ископаемых.

В соответствии с целевым назначением выделяются следующие виды технологических проб: минералого-технологические, малые технологические, лабораторные, укрупненно-лабораторные, полупромышленные и промышленные.

Минералого-технологические пробы отбираются для определения основных свойств руды, которые определяют возможные способы и показатели ее переработки. По ним изучается: распределение по минеральным видам основных и попутных компонентов, вредных и шлакообразующих примесей; текстурно-структурные особенности руд, определяющие эффективность их предварительного обогащения в покусковом режиме и степень раскрытия зерен рудных минералов при измельчении руд; содержание в руде минералов и веществ, осложняющих процессы ее переработки; физико-технические свойства, влияющие на показатели технологических процессов (крепость, абразивность, кусковатость и др.). Минералого-технологические пробы отбираются по всем природным типам и разновидностям руд, выделенным в процессе геологической документации горных выработок и скважин. Их масса обычно не превышает 10 кг.

Малые технологические пробы используются для проведения испытаний, по результатам которых устанавливается зависимость между особенностями вещественного состава и обогатимостью руд, намечаются принципиальные схемы и режимы переработки природных типов руд, предварительно выделяются технологические типы и сорта руд, изучается изменчивость технологических свойств руд на разных участках и горизонтах месторождения. Их масса, как правило, составляет несколько десятков килограммов.

Минералого-технологические и малые технологические пробы являются основой геолого-технологического картирования, по результатам которого устанавливается методика отбора представительных проб для лабораторных и полупромышленных испытаний, оконтуриваются запасы различных технологических типов и сортов руды, разрабатывается схема рудоподготовки и создаются системы управления качеством добываемой руды.

Лабораторные технологические пробы отбираются для изучения технологических свойств минерального сырья с полнотой, необходимой для выбора оптимальной технологической схемы и определения основных показателей его переработки. По результатам испытаний лабораторных проб решается вопрос о целесообразности раздельной или совместной переработки природных разновидностей руд и определяются критерии выделения технологических типов и сортов. Масса этих проб колеблется от 0,5–3 до 10 т.

Укрупненно-лабораторные пробы используются для отладки режима и уточнения показателей переработки руд по ранее выбранным схемам. Технологические испытания этих проб проводятся в замкнутом цикле до получения конечных продуктов переработки на лабораторных установках, отличающихся от промышленных лишь меньшей производительностью. При этом моделируются все процессы переработки, начиная от рудоподготовки и кончая очисткой от нежелательных примесей концентратов, отвальных хвостов и оборотной воды. Масса этих проб обычно составляет десятки тонн.

Испытания *полупромышленных и промышленных проб* проводятся на опытных обогатительных фабриках или в перерабатывающих цехах действующих горнодобывающих предприятий в режиме, рекомендованном для промышленной переработки. Это позволяет получить надежные оценки показателей переработки по всему технологическому циклу. Масса полупромышленных и промышленных технологических проб зависит от производительности опытной установки или сменной производительности перерабатывающего цеха и может составлять от нескольких сотен до нескольких тысяч тонн.

При отборе технологических проб особое внимание уделяется их представительности, т. е. соответствию основных свойств руды, отобранной в пробу, среднему составу руд, характеризующихся этой пробой. Лабораторные, укрупненно-лабораторные и полупромышленные пробы должны отвечать составу товарной руды с учетом нормативного разубоживания при добыче.

Отбор минералого-технологических и малых технологических проб из горных выработок обычно производится бороздовым (реже штуфным) способом. Длина бороздовой пробы определяется положением границ интервала руды, соответствующей определенному природному типу, а сечение принимается исходя из необходимости отбора пробы требуемой массы. Материалом технологических проб может быть также и керн: в пробы направляется четверть или половина керна, оставшегося после отбора рядовых проб, направляемых на химический анализ. Лабораторные, укрупненно-лабораторные и полупромышленные технологические пробы отбираются из горных выработок валовым способом. Промышленные технологические пробы часто отбираются из отвалов руды, добытой при проходке разведочных горных выработок или небольших опытных карьеров.

Основными технологическими показателями переработки полезного ископаемого являются: выход продукции, извлечение компонента и состав продукции.

Выход продукции (концентрата) – это отношение массы продукции к массе руды, поступившей на переработку.

Извлечение компонента – это отношение массы компонента в продукции (концентрате) к массе компонента в руде; извлечение компонента в отходы переработки (хвосты обогащения) называется *потерями*.

Состав (качество) продукции – это содержание полезного компонента в продукции (концентрате), т. е. отношение массы компонента к массе продукции.

Все указанные показатели могут быть выражены в масс. % или в долях единицы. Между ними существуют следующие соотношения.

Уравнение баланса вещества, выполняющееся на любой стадии переработки руды:

$$\alpha \cdot \varepsilon = \gamma \cdot \beta,$$

где α – состав руды, поступающей на переработку; ε – извлечение компонента; γ – выход продукции; β – состав продукции.

Сумма выходов всех продуктов переработки руды (концентрата и хвостов) должна быть равна 100 %; сумма извлечений каждого полезного компонента по всем продуктам переработки также должна быть равна 100 %.

Пример результатов обогащения технологической пробы медно-цинковой руды приведен в табл. 7.12.

Таблица 7.12

Результаты обогащения медно-цинковой руды
(по Г. С. Поротову, 2004)

Продукт обогащения	Выход продуктов γ , масс. %	Состав продуктов β , масс. %			Извлечение компонентов ε , масс. %		
		<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>S</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>S*</i>
Медный концентрат	7,2	24,6	2,32	39,2	80,3	3,2	11,9
Цинковый концентрат	10,6	1,45	43,2	38,0	7,0	87,1	17,0
Пиритный концентрат	35,5	0,58	0,86	45,5	9,3	5,8	68,4
Хвосты	46,7	0,16	0,44	1,38	3,4	3,9	2,7
Исходная руда	100,0	2,10	5,18	23,6	100,0	100,0	100,0

*Пример расчета извлечения *S* в медный концентрат: $7,2 \times 39,2 : 23,6 = 11,9$

Статистическое обобщение результатов испытаний технологических проб часто позволяет выявить зависимость показателей обогащения от качественных характеристик руды, которые определяются при других видах опробования, таких как содержание химических компонентов, присутствие или отсутствие некоторых минералов, размер минеральных выделений и др. Эти зависимости носят статистический характер и могут быть оценены с помощью коэффициентов корреляции и уравнений регрессии. Они могут быть использованы для прогнозирования показателей обогащения минерального сырья, не прибегая к их прямому определению путем отбора и изучения технологических проб. В качестве примера на рис. 7.21 приведен график зависимости выхода медного концентрата от содержания меди в руде.

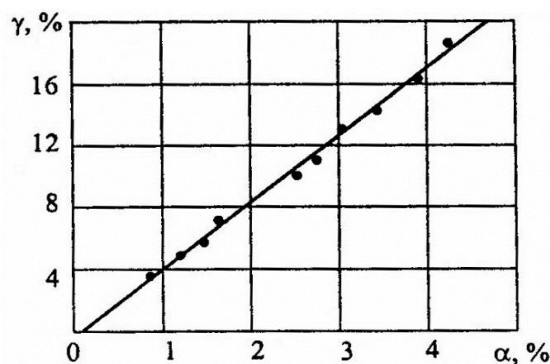


Рис. 7.21. Зависимость выхода медного концентрата γ от содержания меди α в руде (по Г. С. Порозову, 2004)

Геолого-технологическое картирование. Основным назначением геолого-технологического картирования являются определение пространственного размещения технологически однородных блоков и оценка в них показателей обогащения. Данные о размещении технологических типов и сортов руд используются при текущем планировании горнодобычных работ, селективной выемке руд различного качества, шихтовании трудно- и легкообогатимых руд, корректировке режима работы перерабатывающего предприятия.

Без геолого-технологического картирования управление качеством продукции в условиях современного горного производства практически невозможно. Управление качеством минерального сырья начинается с оконтуривания залежей и выбора направления и порядка развития горных работ. Непосредственное воздействие на качество минерального сырья происходит при извле-

чении, доставке, складировании и отгрузке сырья потребителю. Управляющие воздействия, которые могли бы улучшить природное качество полезного ископаемого, в процессе горных работ относительно ограничены. Они включают в себя такие мероприятия, как снижение потерь и разубоживания путем совершенствования технологии и организации добычных работ, применение новых технических средств горного производства. Абсолютное увеличение или уменьшение средних содержаний компонентов в добываемом сырье достигается путем рационального включения в эксплуатацию различных сортов руд (более богатых или более бедных). Однако основное повышение концентрации полезных компонентов в исходном сырье можно получить практически только при обогащении или первичной переработке.

Одной из задач горного производства является повышение стабильности показателей качества добытого минерального сырья с целью снижения влияния на режимы его переработки природной изменчивости полезных ископаемых. Требования стабильности объясняются сложностью перестройки технологических режимов переработки: при неоптимальном режиме происходят увеличение материально-трудовых затрат, снижение коэффициента извлечения полезного продукта, увеличиваются потери. Задача стабилизации качества полезных ископаемых решается путем смешивания в общем грузопотоке, в том числе и на специальных усреднительных комплексах, отдельных объемов добытого сырья с разными уровнями качества.

Существуют два способа геолого-технологического картирования: прямой и косвенный. При прямом способе из всех рудных пересечений отбираются и испытываются по упрощенной схеме малообъемные технологические пробы. При использовании косвенного способа картирование ведется на основе выявленных зависимостей показателей обогащения от химического, минерального состава, текстурно-структурных особенностей, физических и других свойств полезного ископаемого. На геолого-технологических картах, планах, проекциях изображаются площади распространения технологических типов и сортов полезного ископаемого и их технологические показатели. При построениях часто используется метод изолиний. Пример геолого-технологической карты приведен на рис. 7.22.

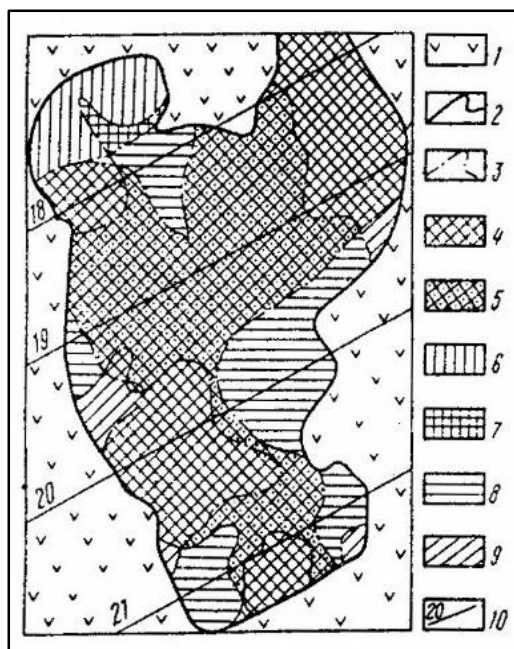


Рис. 7.22. Геолого-технологическая карта залежи Черемшанского месторождения оксидно-силикатных никелевых руд (Урал) (по Л. М. Петрухе, 2003):
 1 – вмещающие породы;
 2 – контур рудной залежи; 3 – границы технологических типов руд;
 4–9 – технологические типы руд:
 4 – кремнистые, 5 – кремнисто-магнезиальные, 6 – железистые; 7 – железисто-магнезиальные, 8 – магнезиальные, 9 – нормальные; 10 – разведочные линии

7.9. Товарное опробование

Товарное опробование – специфический тип опробования, проводимый горнодобывающими предприятиями для определения качества добытого полезного ископаемого или продуктов его первичной переработки. В зависимости от требований к качеству полезного ископаемого, устанавливаемых потребителем, в процессе товарного опробования могут определяться химические, технические, минералогические и технологические свойства продукции. По этой причине товарное опробование не может рассматриваться как самостоятельный вид опробования.

Основная цель товарного опробования – определение качества минерального сырья для взаиморасчетов между предприятием, ведущим эксплуатацию, и потребителем.

На основе данных товарного опробования оценивается соответствие качества добытого полезного ископаемого и полученных из него товарных продуктов требованиям ГОСТов, ОСТов или ТУ потребителя; решаются вопросы утилизации и хранения пустых пород, некондиционных руд и отходов переработки полезного ископаемого; оценивается степень извлечения компонентов при обогащении и переделе.

Данные товарного опробования используются для получения шихты стабильно-оптимального состава, направляемой потребителем на дальнейшую переработку. Результаты товарного опробования учитываются при сопоставлении данных разведки и эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

Товарному опробованию подвергаются измельченные и перемешанные массы минерального вещества, находящиеся в момент опробования как в статическом (в отвалах, штабелях, самосвалах, вагонах), так и в динамическом состояниях (на лентах транспортеров или в текущей пульпе).

В первом случае пробы отбираются либо горстьевым способом, либо способом вычерпывания. Предпочтительнее является использование способа вычерпывания, так как при горстьевом способе опробования могут возникать систематические погрешности в оценке качества полезного ископаемого, обусловленные различием физико-механических свойств рудных и безрудных минералов. При отборе частных порций проб целесообразно использовать изготавливаемые отечественной промышленностью или импортные щупы. Количество частных порций в зависимости от принятой на предприятии формы сети и размеров ячеек обычно составляет 5–10 штук. Сеть отбора частных должна быть равномерной. Наиболее часто применяемые формы сети: прямоугольный или квадратный «конверт». Реже используются прямоугольная, квадратная и ромбическая сети.

Опробование отбитых руд и продуктов ее переработки в динамическом состоянии производится путем отбора проб через определенные интервалы времени непосредственно с лент транспортера или из потока пульпы с помощью механических пробоотборников, отсекающих от движущегося материала определенное количество вещества.

Способы определения качественных характеристик добытого полезного ископаемого должны быть максимально экспрессными, так как процесс переработки минерального сырья часто является непрерывным или осуществляется через относительно небольшие временные интервалы. Этому требованию, в частности, отвечают многие геофизические методы опробования. Однако перед внедрением геофизических методов на каждом эксплуатируемом месторождении обязательно должны быть проведены экспериментальные исследования по оценке эффективности их применения.

8. ОЦЕНОЧНЫЕ РАБОТЫ, РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ, ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ РАЗВЕДКА

8.1. Задачи и принципы разведки

8.1.1. Задачи разведки

Разведка – это комплекс геологических исследований, проводимых для определения геолого-промышленных параметров месторождения, выявления их пространственной изменчивости с целью промышленной оценки объекта и получения материалов для проектирования, строительства горнодобывающего предприятия и планирования добычных работ.

Несмотря на различие решаемых задач рассматриваемые в данном разделе стадии геологоразведочных работ выполняются по единым методическим принципам и отличаются в основном степенью детальности исследований, в первую очередь, плотностью разведочной сети. Эти стадии согласно Положению о порядке проведения геологоразведочных работ... (1999) называются:

- *оценочные работы,*
- *разведка месторождения,*
- *эксплуатационная разведка.*

Обратим внимание на то, что по целям, задачам и методике проведения современные стадии «*Оценочные работы*» и «*Разведка месторождения*» практически полностью совпадают со стадиями соответственно «*Предварительная разведка*» и «*Детальная разведка*» действовавшей до 1999 г. стадийности геологоразведочных работ.

В процессе проведения геологоразведочных работ вышеуказанных стадий изучаются пространственное положение, условия залегания и морфология тел полезных ископаемых, качество и технологические свойства руд, попутные полезные ископаемые, гидрогеологические и инженерно-геологические условия эксплуатации, местные стройматериалы, возможность их использования для промышленного и гражданского строительства. Оцениваются транспортно-энергетическая инфраструктура района, возможность использования ее при строительстве и работе горнодобывающего предприятия.

Любая разведка включает в себя:

- вскрытие и пересечение тел полезных ископаемых разведочными выработками (скважинами и горными выработками);
- измерение параметров оруденения (мощности залежей, качества полезного ископаемого) в разведочных выработках, опробование, геофизические

исследования и прогноз значений геолого-промышленных параметров между выработками;

- изучение инженерно-геологических, гидрогеологических и геокриологических условий;

- создание прогнозной модели месторождения с изображением ее на планах, разрезах и проекциях и на этой основе определение границ (оконтуривание и геометризация) тел полезных ископаемых и их свойств;

- определение (подсчет) количества и качества запасов полезных ископаемых и степени их изученности;

- оценка экономической эффективности разработки месторождения в целом, а также его участков, блоков и т. п.

8.1.2. Принципы разведки

Методологическую основу разведки месторождений составляют положения, сформулированные в виде принципов, которыми следует руководствоваться при решении наиболее общих разведочных задач.

Принцип полноты исследования включает в себя: 1) требование изучения и оконтуривания всего месторождения (для крупных месторождений – участков, соответствующих отработке одним горнодобывающим предприятием, например, шахтное поле); 2) полное пересечение разведочными выработками залежей полезных ископаемых и минерализованных зон; 3) полное и всестороннее изучение качества основного и попутных полезных ископаемых и всех необходимых геолого-промышленных параметров. Данный принцип не преследует всеобъемлющего познания месторождения. Степень изученности должна соответствовать народнохозяйственной целесообразности и уровню экономического риска.

Принцип последовательных приближений состоит в последовательном наращивании знаний о месторождении, поскольку исследования ведутся от общего к частному, и выражается в стадийности ГРП, а также в последовательном развитии разведочных работ от верхних и центральных частей месторождения к нижним горизонтам и флангам. По завершении каждой стадии производится геолого-экономическая оценка объектов, позволяющая своевременно отбраковать неперспективные и снизить экономический риск неподтверждения запасов.

Принцип равной достоверности предусматривает: 1) равномерную сеть горных выработок и скважин для участков (блоков), находящихся на одной стадии изучения; 2) равномерную сеть опробования; 3) применение на разных участках месторождения технических средств, дающих соизмеримые результаты; 4) применение равноточных методик исследования вещества.

Принцип минимальных затрат отражает предельно возможную экономию финансовых, материальных и трудовых затрат, а также затрат времени при решении разведочных задач.

Принцип аналогии выражается в переносе методики, системы и способов разведки с известных объектов на недостаточно изученные. Это позволяет осуществлять типизацию методики разведки в пределах отдельных геолого-промышленных типов и групп сложности месторождений. Принято различать межобъектную и внутриобъектную аналогию. В первом случае методика разведки с хорошо изученного объекта переносится на менее изученный; во втором – методические приемы и данные, полученные по хорошо изученным частям месторождения, переносятся на менее изученные части этого же месторождения. Эти методические приемы характеризуются погрешностями аналогии, которая во втором случае, естественно, меньше.

Указанные принципы находятся в диалектическом единстве и противоположности. Ни одному принципу нельзя отдавать абсолютного предпочтения. Правильное решение геологоразведочных задач заключается в получении необходимой и достаточной полноты и достоверности знаний об объекте при минимуме затрат.

8.2. Способы и системы разведки

8.2.1. Способы разведки

В геологоразведочной практике применяются *три способа разведки: горный, буровой и горно-буровой (комбинированный)*. Выбор способа разведки (технических средств разведки) определяется геологическими и горнотехническими факторами.

Геологические факторы включают в себя текстурно-структурные особенности полезного ископаемого, его минеральный состав, форму и размеры рудных тел, присутствие в рудных телах безрудных участков, количество рудных тел и их тектоническую нарушенность.

1. *Текстурно-структурные особенности полезного ископаемого.* Определяют степень дискретности распределения вещества и изменчивость качества. Чем выше дискретность распределения полезного вещества, тем больше должен быть объем проб. В скважинах можно отобрать пробы лишь ограниченного объема.

2. *Минеральный состав руд* влияет на точность определения содержаний компонентов в пробах, особенно керновых. Различие физико-механических свойств минералов, слагающих полезное ископаемое, может привести

к избирательному разрушению керна, что вызывает необходимость проведения специальных исследований по выявлению масштабов этого явления и введению соответствующих поправок.

3. *Форма и размеры рудных тел.* При малых размерах рудных тел, имеющих изометричную форму, применение буровых скважин не рационально.

4. *Присутствие в рудных телах безрудных участков малых размеров* не всегда позволяет осуществлять их оконтуривание с помощью скважин.

5. Большое количество *рудных тел небольших размеров в условиях интенсивной тектонической нарушенности* не всегда позволяет по данным бурения увязать в единую систему дискретные результаты вскрытия залежей полезных ископаемых.

Горнотехнические факторы включают в себя крепость горных пород и руд, глубину залегания залежей полезных ископаемых, степень обводненности месторождения.

1. *Крепость горных пород и руд.* Высокая крепость горных пород и руд резко удорожает стоимость разведки горными выработками и увеличивает ее сроки. Бурение, особенно с применением алмазных коронок, позволяет в 3–4 раза снизить стоимость разведки и в 2–3 раза сократить сроки ее проведения.

2. *Глубина залегания залежей полезных ископаемых.* Глубокие горизонты месторождений при прочих равных условиях экономически выгоднее разведывать скважинами. Неглубоко залегающие залежи целесообразно разведывать канавами, шурфами, траншеями и мелкими скважинами.

3. *Обводненность месторождения.* При бурении скважин обводненность не является ограничительным условием. В то же время проходка горных выработок требует организации водоотлива, часто весьма дорогостоящего.

8.2.2. Системы разведочных работ

Система разведки – это пространственное размещение разведочных выработок, пройденных в определенной последовательности. На выбор систем разведочных работ оказывают влияние следующие факторы: угол падения залежей, их форма, размер, изменчивость формы, изменчивость качества полезного ископаемого, система ранее пройденных разведочных горных выработок и скважин, система разработки месторождения.

1. *Угол падения.* По углу падения залежи полезных ископаемых подразделяются на: пологие (0–25°), наклонные (25–45°), крутые (>45°). Вскрытие пологих и наклонных залежей ведется вертикальными скважинами, а блокировка запасов изображается на планах. Вскрытие крутых залежей осуществляется наклонными скважинами, при этом угол встречи скважиной рудного тела

не должен превышать 30° ; блокировка запасов крутых залежей показывается на продольных вертикальных проекциях.

2. *Форма тел полезных ископаемых.* По форме залежи принято подразделять на: 1) изометричные (идеальная модель – шар), 2) уплощенные – вытянутые по простиранию и падению (пластовые, жильные, пласто- и жилообразные), 3) вытянутые по одной оси (трубообразные).

Форма и пространственная ориентировка залежей являются определяющими при выборе формы разведочной сети.

Изометричные залежи разведуются системой вертикальных сечений с проходкой на них как вертикальных (в центральной части), так и наклонных (по периферии) скважин. Форма сети в плане – преимущественно квадратная.

Плоские залежи при наклонном залегании принято разведывать системой вертикальных скважин и/или горных выработок, располагаемых по квадратной (для изометричных в плане тел) или прямоугольной сети.

Плоские залежи при крутом залегании разведуются системой наклонных скважин, располагаемых на вертикальных параллельных сечениях.

Трубообразные вертикально залегающие залежи разведуются аналогично изометричным – системой вертикальных сечений с проходкой на них как вертикальных (в центральной части), так и наклонных (по периферии) скважин. Форма сети в плане – преимущественно квадратная.

3. *Размер залежей полезных ископаемых.* По длине их разделяют на: крупные (>1000 м), средние (100–1000 м), мелкие (<100 м). Крупные залежи разведуются по более редкой сети, нежели средние и мелкие.

4. *Изменчивость формы залежей и качества полезного ископаемого.* Чем выше изменчивость, тем более плотной должна быть разведочная сеть.

5. *Система ранее пройденных разведочных горных выработок и скважин и система разработки месторождения.* Система разведки должна учитывать и органически вписываться в систему ранее пройденных горных выработок и скважин и в систему разработки.

Группы сложности месторождений для целей разведки

Прослеживание и оконтуривание залежей начинаются с получения самых общих представлений о их форме и пространственной ориентировке.

Для определения параметров разведочной сети применяются эмпирические и количественные методы. На сегодняшний день – в основном эмпирические методы, количественные имеют лишь вспомогательное значение.

Эмпирические методы основаны на использовании практического опыта разведки аналогичных месторождений. Этот опыт обобщен в «Методических

рекомендациях..., 2007» и является основным. В указанных рекомендациях месторождения полезных ископаемых *по степени сложности разделены на четыре группы:*

1. Месторождения (участки недр) *простого геологического строения* с крупными и весьма крупными, реже средними по размерам телами полезных ископаемых с ненарушенным или слабонарушенным залеганием, характеризующимися устойчивыми мощностью и внутренним строением, выдержанным качеством полезного ископаемого, равномерным распределением основных ценных компонентов. Особенности строения месторождений (участков недр) определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий А, В, С₁ и С₂.

2. Месторождения (участки недр) *сложного геологического строения* с крупными и средними по размерам телами с нарушенным залеганием, характеризующимися неустойчивыми мощностью и внутренним строением, либо невыдержанным качеством полезного ископаемого и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Ко второй группе относятся также месторождения углей, ископаемых солей и других полезных ископаемых простого геологического строения, но со сложными или очень сложными горно-геологическими условиями разработки. Особенности строения месторождений (участков недр) определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий В, С₁ и С₂.

3. Месторождения (участки недр) *очень сложного геологического строения* со средними и мелкими по размерам телами полезных ископаемых с интенсивно нарушенным залеганием, характеризующимися очень изменчивыми мощностью и внутренним строением либо весьма невыдержанным качеством полезного ископаемого и очень неравномерным распределением основных ценных компонентов. Особенности строения месторождений (участков недр) определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий С₁ и С₂.

4. Месторождения (участки недр) *с мелкими*, реже средними по размерам телами с *чрезвычайно нарушенным залеганием* либо характеризующиеся резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения, крайне неравномерным качеством полезного ископаемого и прерывистым гнездовым распределением основных ценных компонентов. Особенности строения месторождений (участков недр) определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий С₂.

Заметим, что далеко не для всех видов полезных ископаемых выделяют все четыре группы сложности, как, например, для месторождений никель-кобальтовых или тантал-ниобиевых руд. Для месторождений железных,

марганцевых, медных, свинцовых, цинковых и вольфрамовых руд, а также солей, фосфоритов, угля и горючих сланцев выделяют только группы 1, 2 и 3; для коренных месторождений золота и серебра, а также месторождений слюды – группы 2, 3, 4; для месторождений хромовых, молибденовых, оловянных и сурьмяных руд – группы 2 и 3, а для месторождений ртути – только группа 4.

Различия в количестве выделяемых групп сложности обусловлены изменчивостью залежей полезных ископаемых: крупные по размерам залежи имеют меньшую изменчивость геолого-промышленных параметров (образуют элементы пространственной неоднородности больших размеров), а мелкие залежи – большую изменчивость. Это и предопределяет возможность разведки крупных залежей по более редкой сети по сравнению с мелкими, которые для обеспечения той же степени достоверности требуют разведки по более густой сети и соответственно увеличивают стоимость разведочных работ.

На месторождениях железных руд, солей, угля и др., которые образуют преимущественно крупные залежи полезных ископаемых, 4-я группа сложности вообще не выделяется. Вследствие большой сложности разведка месторождений 4-й группы требует больших затрат, а количество извлекаемых из недр запасов не обеспечивает экономическую эффективность добычных работ. Напротив, полезные ископаемые, например, ртутные руды, в принципе не могут образовывать месторождения 1-й, 2-й и даже 3-й групп: они образуют гнездовые и линзовидные скопления небольших размеров с чрезвычайно высокой изменчивостью геолого-промышленных параметров.

Для каждой группы в зависимости от категории запасов в вышеуказанных документах приведены значения параметров разведочной сети по двум осям анизотропии основных геологических параметров (форма и качество): по падению (промежуточная ось) и простиранию (длинная ось). Что касается короткой оси, которая соответствует секущим пересечениям выработками тел полезных ископаемых, то система размещения пунктов наблюдения по ним устанавливается на основе правила, принятого при опробовании: секущие горные выработки и скважины опробуются непрерывно с подразделением на секции (см. подраздел 7.3).

При отнесении месторождений к той или иной группе могут использоваться показатели оценки изменчивости основных свойств оруденения, характерные для каждого конкретного вида полезного ископаемого.

В «Методических рекомендациях..., 2007» в качестве статистических характеристик сложности строения залежей полезных ископаемых рекомендуется использовать коэффициенты рудоносности (K_p), показатели сложности (q), коэффициенты вариации мощности (V_m) и содержания (V_c).

Коэффициент рудоносности (K_p) рассчитывается как отношение суммы длин рудных интервалов по скважинам и горным выработкам (l_p) к общей длине пересечений (l_o) в пределах продуктивной зоны (в границах промышленного оруденения):

$$K_p = \frac{l_p}{l_o}.$$

Показатель сложности (q) определяется как отношение числа рудных пересечений (N_p) к сумме всех разведочных пересечений: рудных, безрудных внутриконтурных (N_e) и законтурных (N_3):

$$q = \frac{N_p}{N_p + N_e + N_3}.$$

Коэффициенты вариации мощности (V_m) и *содержания* (V_c), выраженные в %, вычисляются по формулам

$$V_m = \frac{S_m}{m_{cp}} 100,$$

$$V_c = \frac{S_c}{C_{cp}} 100,$$

где S_m и S_c – среднеквадратические отклонения, m_{cp} и C_{cp} – среднеарифметические значения соответственно мощности и содержания.

Значения статистических характеристик, типичные для месторождений отдельных групп сложности, приведены в табл. 8.1.

Решение об отнесении месторождения к конкретной группе принимается по совокупности всей геологической информации с учетом статистической характеристики, характеризующей наивысшую изменчивость формы или содержания.

В качестве примера в табл. 8.2 приведены данные о плотности сетей разведочных выработок, применяемые на месторождениях солей.

Таблица 8.1

Количественные характеристики изменчивости
основных свойств оруденения

Группа сложности месторождений	Статистические характеристики изменчивости			
	формы			содержания
	K_p	q	$V_m, \%$	$V_c, \%$
1	0,9–1,0	0,8–0,9	< 40	< 40
2	0,7–0,9	0,6–0,8	40–100	40–100
3	0,4–0,7	0,4–0,6	100–150	100–150
4	< 0,4	< 0,4	>150	>150

Таблица 8.2

Обобщенные данные о плотности сетей разведочных выработок,
применяемые при разведке месторождений ископаемых солей в странах СНГ
Методические рекомендации ... (2007)

Группа сложности	Тип месторождений	Категории запасов		
		А	В	С ₁
		Расстояния между выработками, м		
1	Пластовые, выдержанные по мощности и качеству солей	800–1200	1200–1600	1600–2400
	Пластово-линзообразные, относительно выдержанные по мощности и качеству солей	400–800	800–1200	1200–2000
2	Линзообразные, штоко- и куполообразные, невыдержанные по мощности и строению соляной толщи или по качеству солей, а также пластовые залежи сравнительно простого строения со сложными горно-геологическими условиями разработки	–	400–800	800–1200
3	Месторождения очень сложного строения с резко изменчивой мощностью или исключительно невыдержанным качеством солей, связанные с солянокупольными структурами	–	–	100–400

Примечание. На **оцененных месторождениях** разведочная сеть для запасов категории С₂ по сравнению с сетью запасов для категории С₁ разрезается в 2–4 раза в зависимости от сложности геологического строения месторождения.

8.3. Оценочные работы

Оценочные работы проводятся на выявленных и положительно оцененных согласно технико-экономическим соображениям (ТЭС) проявлениях и месторождениях с прогнозными ресурсами категорий Р₁ и Р₂. Целью работ данной стадии являются выявление месторождений, представляющих промышленный интерес, и отбраковка объектов, не имеющих промышленного значения.

Основной конечный результат оценочных работ – обнаружение месторождений полезных ископаемых, оценка запасов категорий С₂ и С₁ и прогнозных ресурсов категории Р₁.

Оконтуривание и изучение с поверхности потенциально промышленного месторождения проводятся путем проведения геологической съемки и составления геологических карт масштабов 1 : 25 000–1 : 10 000 для крупных и

масштаба 1:5 000–1:1 000 для сложных и небольших месторождений. Съемка сопровождается детальными петрографическими, геофизическими и геохимическими исследованиями.

Изучение рудовмещающих комплексов, вскрытие и прослеживание тел полезных ископаемых с поверхности осуществляется канавами, шурфами, поисково-картировочными скважинами.

Изучение на глубину ведется в основном буровыми скважинами до горизонтов, обеспечивающих вскрытие рудоносных структурно-вещественных комплексов, а при глубоком залегании – до горизонтов, экономически целесообразных для разработки. При высокой степени изменчивости полезной минерализации и сильно расчлененном рельефе 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, обработки и анализа проб.

Технологические свойства полезного ископаемого оцениваются по лабораторным, реже по малым и большим технологическим пробам, отобранным с учетом геолого-технологического картирования; намечается принципиальная схема переработки руд, обеспечивающая комплексное использование полезного ископаемого; определяются технологические показатели переработки.

В скважинах и горных выработках проводится комплекс гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических, геофизических и других исследований в объемах, достаточных для обоснования способа вскрытия и разработки месторождения, определения источников водоснабжения, возможных водопритоков в горные выработки и очистное пространство. Оцениваются экологические условия добычных работ и их влияние на природную среду. При оценке условий разработки используются данные по известным обрабатываемым в районе месторождениям.

Степень геологической изученности должна обеспечить оценку промышленного значения месторождения с подсчетом всех или большей части запасов по категории C_2 . По менее детально изученным частям месторождения оцениваются прогнозные ресурсы категории P_1 . Достоверность данных о геологическом строении подтверждается на участках детализации с подсчетом запасов категории C_1 . Соотношение запасов различных категорий действующими нормативными документами не регламентируется. Однако для того, чтобы ориентироваться в этом вопросе, особенно на стадии проектирования оценочных работ, можно воспользоваться сведениями, приведенными в ранее

действовавшей «Классификации запасов и прогнозных ресурсов..., 1981». Для стадии «Предварительная разведка» – аналога современной стадии «Оценочные работы» рекомендовались соотношения, приведенные в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Оптимальное соотношение запасов (%)
по результатам работ стадии «Предварительная разведка»
(Классификация запасов и прогнозных ресурсов..., 1981)

Группа сложности месторождений	Категория запасов
1	40–50 % категории C_1 от суммы категорий $C_1 + C_2$
2, 3	30–40 % категории C_1 от суммы категорий $C_1 + C_2$
4	Только до категории C_2

После завершения полевых работ, составления сводных графических документов производится повариантный подсчет запасов, на основе которого разрабатываются временные кондиции. *Временные кондиции* кладутся в основу окончательного подсчета запасов и *геолого-экономической оценки месторождения*. По этим материалам составляется краткий документ – Техничко-экономический доклад (ТЭД), в котором дается предварительная оценка промышленной ценности месторождения и определяется целесообразность проведения работ стадии «Разведка месторождения» с целью подготовки объекта к освоению.

Отчет с результатами подсчета запасов, включая обоснование временных кондиций, и ТЭД представляются на государственную геологическую, экономическую и экологическую экспертизы. Содержание отчета и технико-экономическое обоснование (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 аукциона на предоставление лицензии на разведку и добычу полезных ископаемых.

8.4. Разведка месторождения

Объектами изучения геологоразведочных работ стадии «Разведка месторождения» являются месторождения полезных ископаемых с запасами категорий C_2 и C_1 и прогнозными ресурсами категории P_1 , полученными по результатам исследований стадии «Оценочные работы».

Согласно федеральному Закону о недрах, утвержденному 21.02.1992 г. (последняя редакция от 11.12.2023 г.), юридическое лицо, которому предоставляется право на проведение разведочных работ, обязано *получить лицензию* на осуществление указанной деятельности. В приложении к лицензии приводится характеристика лицензионного участка (площадь, глубина и координаты узловых точек). Участок передается собственнику в виде горного отвода. *Горный отвод* может включать месторождение полностью или частично. Последнее характерно для крупных месторождений, когда горный отвод представляет собой объект самостоятельной эксплуатации, например, шахтное поле. В горный отвод включают также площади, на которых размещаются объекты инфраструктуры предприятия: отвалы, обогатительные фабрики, дороги, ЛЭП, здания и сооружения и т. п.

Целью разведки являются оценка промышленной ценности месторождения и *получение информации* об объекте с детальностью, обеспечивающей возможность проектирования горнодобывающего предприятия. Геологические, гидрогеологические, горнотехнические, технологические и другие данные, полученные в результате проведения разведочных работ, позволяют составить технико-экономическое обоснование постоянных кондиций и освоения месторождения, а также подсчитать запасы по категориям А, В, C_1 и C_2 .

На рассматриваемой стадии завершается *изучение* строения месторождения *с поверхности*: составляется геологическая карта на инструментальной основе. В зависимости от промышленного типа месторождения, его размеров, сложности строения, характера распределения и степени изменчивости тел полезных ископаемых геологическая съемка проводится в масштабах 1 : 10 000–1 : 1 000 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 форму, строение и условия их залегания, установить интенсивность проявления зоны окисления, вещественный состав и технологические свойства окисленных и смешанных руд.

Разведка месторождений на глубину ведется 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, осуществляются работы по выявлению местных строительных материалов. Разрабатываются схемы размещения объектов промышленного и гражданского назначения и природоохранные мероприятия.

Разрабатывается *ТЭО постоянных разведочных кондиций*, производится подсчет запасов основных и попутных полезных ископаемых 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 *проверяется* на представительных для всего месторождения участках детализации, на которых запасы должны быть разведаны по наиболее высоким категориям разведанности, принятым для месторождений данной группы сложности.

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. При необходимости

можно воспользоваться ранее действовавшими рекомендациями. Для стадии «Детальная разведка» – аналога современной стадии «Разведка месторождения» рекомендовались соотношения, приведенные в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Оптимальное соотношение запасов, %, по результатам работ стадии «Детальная разведка»
(Классификация запасов и прогнозных ресурсов..., 1981)

Группа сложности месторождений	Категория запасов			
	A	B	C ₁	C ₂
1	10	20	70	–
2	–	20	80	–
3	–	–	80	20
4	–	–	50	50

Примеры схем вскрытия месторождений на стадии «Разведка месторождения» приведены на рис. 8.1–8.5.

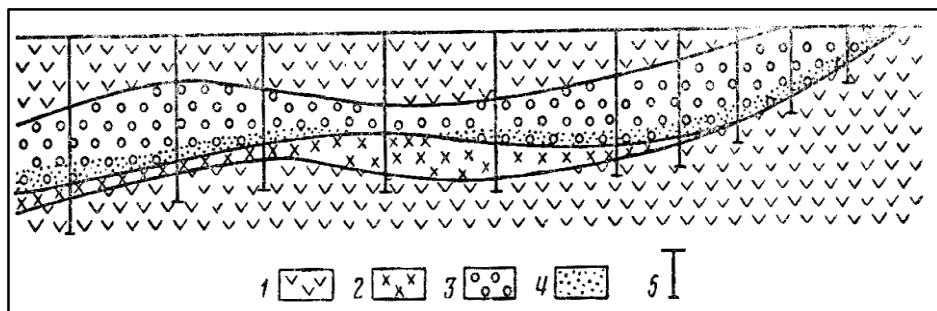


Рис. 8.1. Разрез месторождения донной залежи вкрапленных сульфидных медно-никелевых руд (по В. И. Смирнову, 1954): 1 – габбронориты; 2 – оливинное габбро; 3 – габбро; 4 – вкрапленные руды; 5 – разведочные скважины

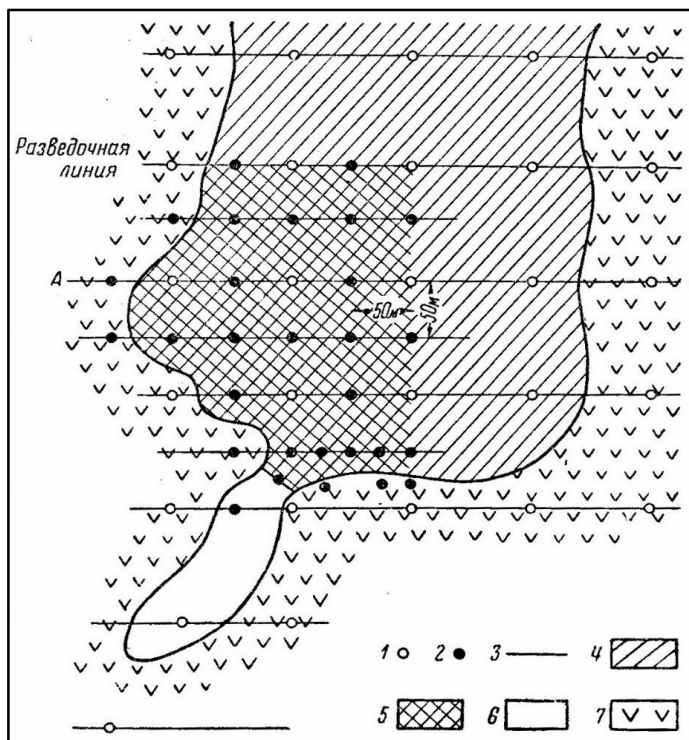
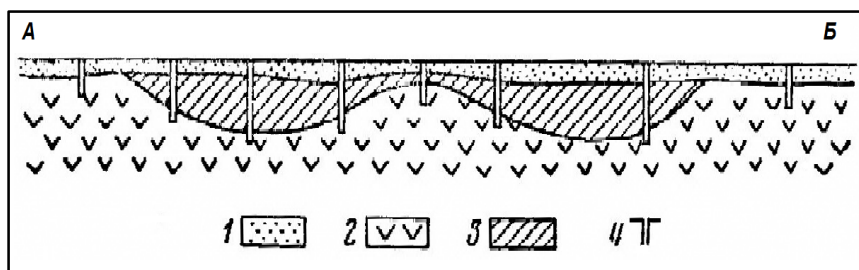


Рис. 8.2. Схема разведки участка плащеобразной залежи бурых железняков в коре выветривания серпентинитов (по В. И. Смирнову, 1954 с изменениями):
 1 – скважины стадии «Оценочные работы»; 2 – скважины стадии «Разведка месторождения»; 3 – разведочные линии; 4 – площадь оценочных работ;
 5 – площадь разведочных работ; 6 – слабо изученный участок; 7 – серпентиниты



Геологический разрез по линии АБ к рис. 8.2:
 1 – современные рыхлые отложения; 2 – серпентиниты;
 3 – бурые железняки; 4 – скважины

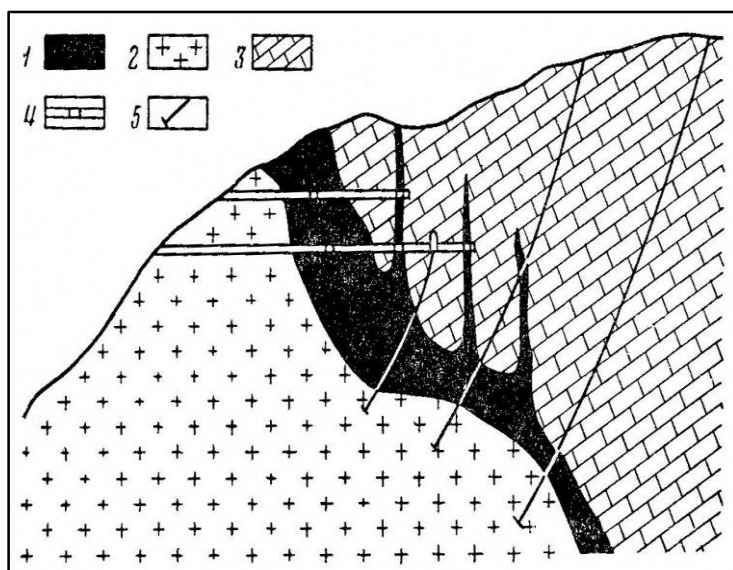


Рис. 8.3. Схема разведки скарново-шеелитового месторождения – поперечный разрез (по В. И. Смирнову, 1954): 1 – шеелитонесные скарны; 2 – адамеллиты; 3 – известняки; 4 – штольни с рудными штреками; 5 – скважины

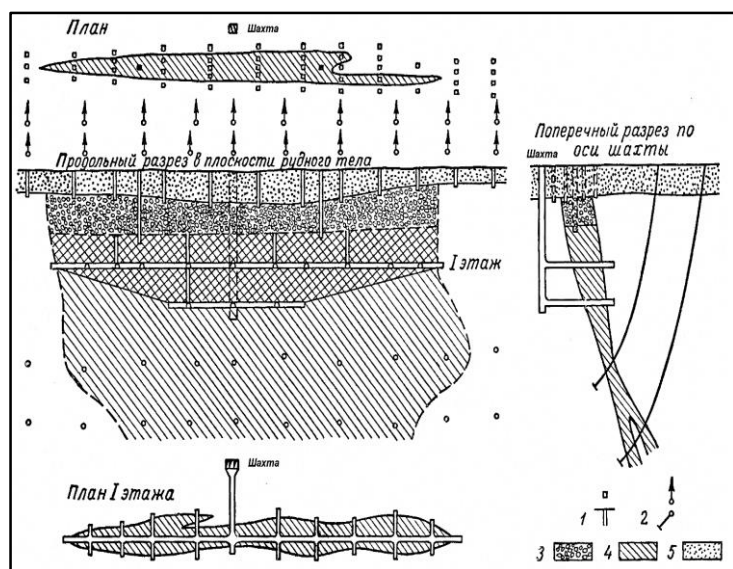


Рис. 8.4. Схема разведки медноколчеданной залежи (по В. И. Смирнову, 1954): 1 – шурфы; 2 – колонковые скважины; 3 – железная шляпа; 4 – сульфидные руды; 5 – наносы. На продольном разрезе штриховка в клетку – запасы категории А, штриховка в полоску – запасы категории В

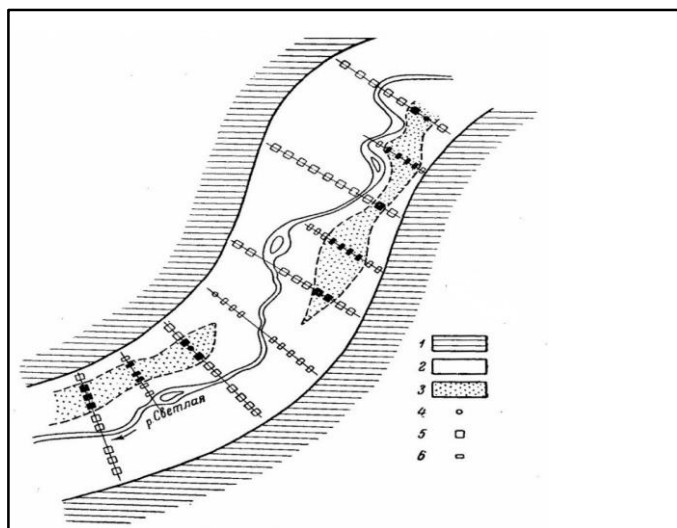


Рис. 8.5. Схема разведки долинной россыпи
(по В. И. Смирнову, 1954 с изменениями): 1 – коренные берега; 2 – долина;
3 – россыпь; 4 – поисковые шурфы; 5 – оценочные шурфы; 6 – разведочные шурфы.
Черной заливкой показаны шурфы, вскрывшие полезное ископаемое;
не залитые – шурфы, показавшие его отсутствие

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

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 по сравнению 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.

Эксплуатация месторождения начинается с отработки запасов наиболее высокой категории разведанности. Запасы, расположенные на флангах и глубоких горизонтах, имеют более низкие категории разведанности. Это предопределяет необходимость их доразведки перед вовлечением в эксплуатацию.

Доразведка ведется в пределах горного отвода предприятия при проектировании, вскрытии и эксплуатационных работах с целью изучения геологического строения месторождения, выявления и оконтуривания новых залежей полезных ископаемых на флангах, глубоких горизонтах с переводом запасов категории C_2 в категорию C_1 и далее – в категории В и А. Доразведка является составной частью геологоразведочных работ стадии «Разведка месторождения» и методически ведется аналогично. Отличия от ранее проведенных работ могут заключаться в том, что бурение скважин может проводиться из подземных горных выработок технологического назначения, которые используются одновременно и как разведочные.

8.5. Эксплуатационная разведка

Эксплуатационная разведка проводится в течение всего периода освоения месторождения. *Объектами ее изучения и оценки* являются *эксплуатационные этажи, блоки, уступы* и другие участки, выделяемые в соответствии с принятой системой вскрытия, подготовки и отработки месторождения.

Цель работ данной стадии заключается в *уточнении информации*, полученной на стадии «Разведка месторождения», для *оперативного планирования* горно-подготовительных, нарезных и очистных работ, *контроля за полнотой* и качеством *отработки запасов*; обеспечения *безопасного ведения работ*.

Основные задачи эксплуатационной разведки: уточнение контуров, вещественного состава и внутреннего строения тел полезных ископаемых; 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.

Основной конечный результат. Уточненные запасы подготовленных и готовых к выемке блоков; материалы для оценки полноты отработки месторождения; уточненные значения потерь и разубоживания полезного ископаемого.

В состав эксплуатационной разведки входят следующие виды работ: *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 и группировка их по месту образования. *Достоверность* учета потерь и разубоживания полезного ископаемого *подлежит проверке* со стороны органов государственного геологического контроля и государственного технического надзора.

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*. Эксплуатационные кондиции разрабатываются на ограниченный временной период. Они должны быть привязаны к конкретным частям тел полезных ископаемых (горизонтам, этажам, уступам и т. д.). ТЭО эксплуатационных кондиций и пересчитанные по этим кондициям запасы должны быть согласованы с местными органами управления; Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор); органами, выдавшими лицензию; и, в необходимых случаях, пройти государственную экспертизу.

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 горнодобывающего предприятия. *Информация о движении запасов, добыче, потерях и обеспеченности предприятия разведанными запасами* передается в установленном порядке в федеральный и территориальный фонды геологической информации.

Для планирования добычных работ запасы полезных ископаемых подразделяются *по степени готовности к выемке: вскрытые, подготовленные, готовые к выемке* (рис. 8.6).

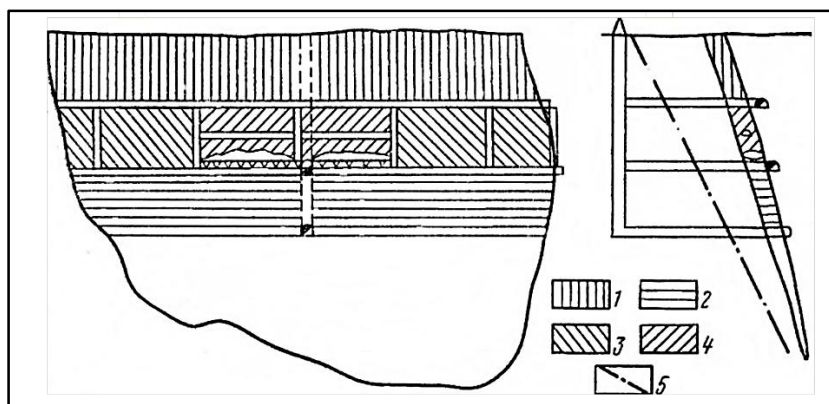


Рис. 8.6. Схема разделения промышленных запасов по степени их готовности к отработке (по В. Ф. Мякову, 1986): а – в проекции на вертикальную плоскость, б – в разрезе. 1–4 – запасы: 1 – отработанные, 2 – вскрытые, 3 – подготовленные, 4 – готовые к выемке; 5 – граница целика шахтного ствола

К вскрытым запасам полезных ископаемых относятся запасы, для разработки которых подземным способом не требуется дополнительных сооружений капитальных горных выработок, а для разработки открытым способом проведены все необходимые работы по вскрытию месторождения (участка), пройдены дренажные выработки, траншеи или съезды, нарезаны уступы для укладки транспортных путей, удалены вскрышные породы.

Подготовленные запасы полезных ископаемых – часть вскрытых запасов, которая при подземной разработке подсечена основными подготовительными выработками и не требует для выемки проведения дополнительных подготовительных выработок, а при открытой разработке – остались незачищенными от породы, оставшейся после экскавации вскрыши.

Готовые к выемке запасы полезных ископаемых – часть подготовленных запасов, для извлечения которой подземным способом проведены все подготовительные и нарезные выработки, открытым способом – произведена полная зачистка.

На разрабатываемых месторождениях эти запасы, а также запасы, находящиеся в охранных целиках горнокапитальных и горноподготовительных выработок, подсчитываются отдельно с подразделением по группам и категориям в соответствии со степенью их геологической изученности.

Эксплуатационная разведка подразделяется на две подстадии:

- опережающая,
- сопровождающая.

Опережающая эксплуатационная разведка проводится не менее чем за 1–2 года до начала отработки блока путем сгущения разведочной сети стадии «Разведка месторождения». Бурение скважин ведется как на основных разведочных линиях, так и на вновь создаваемых (между основными). Скважины документируются, подвергаются опробованию, каротажу и другим исследованиям. В качестве разведочных используются также горные выработки технологического назначения.

Сопровождающая эксплуатационная разведка осуществляется параллельно с подготовкой добычных блоков к выемке. Она ведется путем документации и опробования буровзрывных скважин (на карьерах также – документации уступов). Глубина скважин определяется принятой технологией отработки (высота уступов карьера, высота эксплуатационных блоков), включая необходимый перебур. Вследствие чрезвычайно густой плотности сети буровзрывных скважин, которая может составлять в пределах $5 \times 5 - 7 \times 7$ м, на каждом месторождении следует провести специальные исследования по определению оптимальной плотности сети исследуемых скважин.

Примеры схем вскрытия месторождений на стадии «Разведка месторождения» приведены на рис. 8.7–8.11.

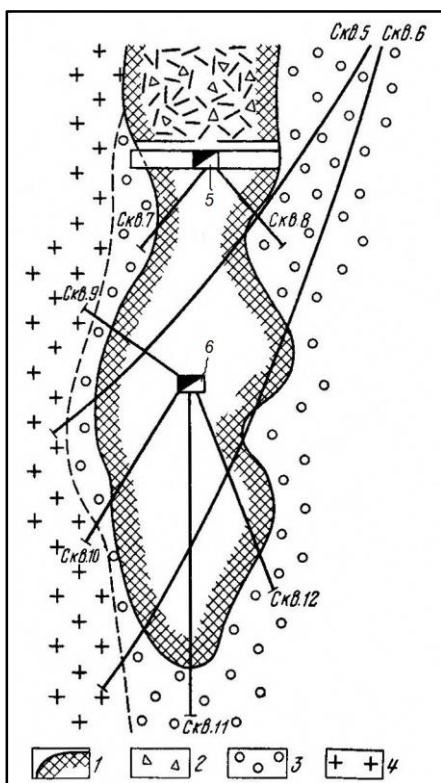


Рис. 8.7. Схема опережающей эксплуатационной разведки рудной залежи сложной формы (вертикальное сечение) (по М. Н. Альбову, А. М. Быбочкину, 1973, с дополнениями): 1 – рудная залежь; 2 – отработанная часть залежи; 3 – скарны; 4 – гранодиориты; 5 – рудный штрек первого горизонта; 6 – рудный штрек второго горизонта; скв. 5–6 – скважины стадии «Разведка месторождения»; скв. 7–12 – скважины подстадии «Опережающая эксплуатационная разведка»

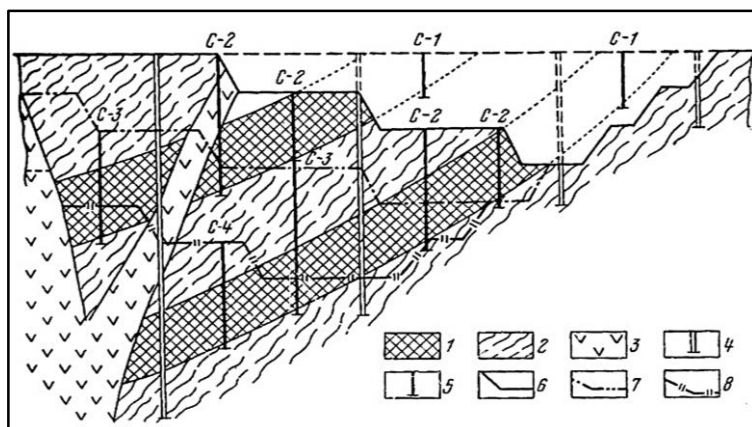


Рис. 8.8. Последовательность проходки скважин опережающей эксплуатационной разведки первого (С-1), второго (С-2), третьего (С-3) и четвертого (С-4) годов разработки месторождения карьером (по М. Н. Альбову, А. М. Быбочкину, 1973): 1 – руда; 2 – сланцы; 3 – дайка габбродолеритов; 4 – скважины стадии «Разведка месторождения»; 5 – скважины эксплуатационной разведки. Контуры карьера: 6 – после первого; 7 – после второго; 8 – после третьего года эксплуатации

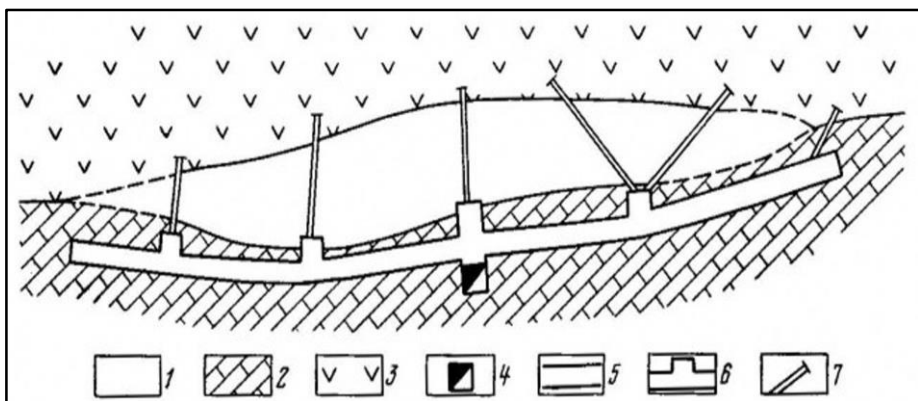


Рис.8.9. Схема опережающей эксплуатационной разведки рудной залежи на подэтаже горизонтальными скважинами из полевого штрека

(по М. Н. Альбову, А. М. Быбочкину, 1973):

- 1 – рудная залежь; 2 – породы лежачего бока; 3 – породы висячего бока;
4 – гезенк; 5 – полевой штрек; 6 – камера для размещения бурового станка;
7 – горизонтальные скважины

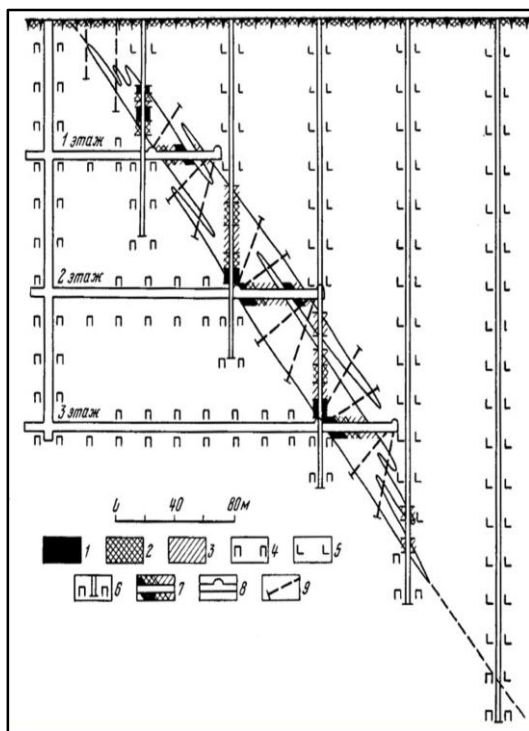


Рис. 8.10. Схема опережающей эксплуатационной разведки крутопадающей рудной залежи сложного состава наклонными скважинами из подземных горных выработок

(по М. Н. Альбову, А. М. Быбочкину, 1973, с изменениями и дополнениями):

- 1, 2, 3 – руды первого, второго и третьего сортов; 4 – породы лежачего бока; 5 – породы висячего бока; 6 – скважины стадии «Разведка месторождения», пройденные с поверхности; 7 – подземные горные выработки; 8 – буровые камеры; 9 – проектные скважины опережающей эксплуатационной разведки

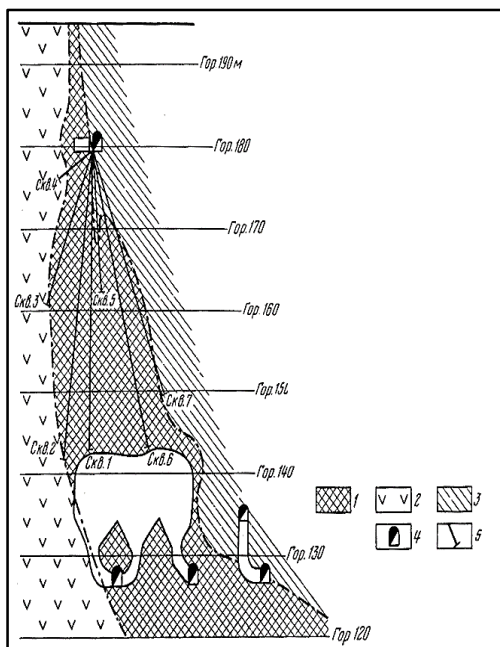


Рис. 8.11. Схема сопровождающей эксплуатационной разведки (поперечный разрез) – изучение буровзрывных скважин для уточнения контуров рудной залежи и ее состава (по М. Н. Альбову, А. М. Быбочкину, 1973 с изменениями):

- 1 – руды; 2 – сиениты; 3 – сланцы;
- 4 – горные выработки;
- 5 – буровзрывные скважины

8.6. Сопоставление данных разведки и разработки

В процессе разработки месторождения изучаются с наибольшей, по сравнению с предшествующими этапами исследования, детальностью. Полученная при этом информация может быть использована для получения очень важных теоретических и практических выводов.

Сопоставление данных разведки и разработки месторождений производится с целью оценки достоверности данных об условиях залегания, о форме рудных тел; количестве, качестве и технологических свойствах минерального сырья, полученных в процессе разведочных работ, а также для обоснования списания запасов в случае их неподтверждения при отработке.

Данные разведки – это сведения, полученные по завершении стадии «Разведка месторождения». Они включают в себя: количество запасов полезного ископаемого, их качественную характеристику, подсчетные параметры; представления о геологическом строении месторождения, положенные в основу подсчета запасов, утвержденных ФБУ «ГКЗ», а для общераспространенных полезных ископаемых – «ТКЗ» субъекта федерации.

Данные разработки – это аналогичные сведения, полученные по результатам освоения месторождения и его эксплуатационной разведки (опережающей и сопровождающей подстадий, отдельно), включая материалы геолого-маркшейдерского учета: количество запасов, их качественная характеристика

и подсчетные параметры, а также представления о геологическом строении месторождения.

Основными задачами сопоставления данных разведки и разработки являются:

- сравнение полноты и достоверности геологической информации о месторождении (объекте сопоставления), полученной в процессе его разведки (доразведки) и разработки;
- определение степени сходимости данных, полученных при разведке, с результатами разработки;
- анализ причин выявленных расхождений, количественная оценка влияния каждой из них на результаты подсчета запасов;
- совершенствование методики дальнейших разведочных работ и подсчета запасов, а также добычи и переработки минерального сырья, методики доразведки и эксплуатационной разведки месторождения;
- оценка соответствия принятых разведочных кондиций геологическим особенностям месторождения, технологическим свойствам минерального сырья и другим параметрам, определяющим условия отработки;
- определение соответствия условий лицензионного соглашения реальным геолого-экономическим характеристикам месторождения.

По результатам сопоставления вырабатываются решения о необходимости уточнения ранее подсчитанных запасов, внесения коррективов в методику разведки, подсчета запасов и геолого-экономической оценки месторождения, разрабатываются мероприятия по совершенствованию технологии добычи и переработки сырья, а также геолого-маркшейдерского обслуживания деятельности предприятия.

Сопоставление данных разведки и разработки *производится* совместно с организацией, выполнявшей разведку месторождения, и горнодобывающим предприятием или сторонней организацией на договорной основе. Предприятие, разрабатывающее месторождение, подготавливает все необходимые для сопоставления материалы геолого-маркшейдерского обслуживания, а также данные о переработке полезного ископаемого.

Процессу сопоставления данных разведки и разработки предшествует *выбор представительного* для сопоставления участка. В его пределах должны находиться залежи полезного ископаемого, характерные по геологическому строению большей части ранее утвержденных запасов. Участок сопоставления должен включать в себя достаточное для статистической обработки количество эксплуатационных блоков (при подземном способе отработки) или уступов карьеров (при открытом способе) и выработок эксплуатационной

разведки. Для участка сопоставления следует провести полный и всесторонний анализ методики геологоразведочных работ и ее соответствие действующим методическим и нормативным документам. Особое внимание следует обратить на замечания, сделанные экспертным органом при утверждении запасов.

Сопоставление данных разведки и разработки осуществляется по всем участкам с погашенными, подготовленными и готовыми к выемке запасами, а также по площадям, где проведено или намечается списание запасов с баланса горнодобывающего предприятия в связи с их неподтверждением или по технико-экономическим причинам, раздельно в контурах, отработанных и подготовленных к отработке запасов.

Сопоставлению подлежат:

- представления об особенностях геологического строения месторождения;
- контуры тел полезных ископаемых с определением ошибки геометризации;
- запасы полезного ископаемого и содержащиеся в них компоненты, подсчетные параметры (площади, мощности, объемы, объемная масса, содержания полезных и вредных компонентов и т. д.);
- данные, характеризующие гидрогеологические, горнотехнические и другие природные условия месторождения;
- соответствие технологии добычи минерального сырья природным условиям месторождения, а технологии его переработки – вещественному составу и технологическим свойствам полезного ископаемого.

Сопоставление производится:

- по телам полезного ископаемого в контурах запасов подсчетных блоков;
- по этим же телам, но с учетом запасов, дополнительно выявленных при эксплуатационной разведке за контурами подсчетных блоков;
- раздельно по подсчетным блокам, категориям запасов, телам полезного ископаемого и участкам, разрабатываемым различными способами, шахтному полю и по месторождению в целом; раздельно по участкам, разведанным с помощью различных технических средств, а также по участкам, запасы которых подсчитаны с использованием разных кондиций.

В тех случаях, когда сравнение отдельных подсчетных блоков и тел невозможно вследствие существенного изменения увязки пересечений тел полезных ископаемых, а также неподтверждения представлений о морфологии и условиях залегания тел полезных ископаемых, сопоставление производится по группам подсчетных блоков и тел, с учетом разделения по категориям запасов.

Результаты сопоставлений оформляются в графической и табличной формах. Последние в дальнейшем подвергаются статистической обработке.

Величина относительного расхождения (P , %) между запасами, установленными по данным разведки (Q_p) и эксплуатации ($Q_э$), определяется по формуле

$$P = \frac{Q_э - Q_p}{Q_p} 100.$$

Аналогично определяются расхождения между значениями других параметров: мощностью (m), площадями (S), содержаниями (C), коэффициентами рудоносности (K_p), значениями объемной массы (d), выходами товарной продукции и др. Во всех случаях за 100 % принимаются данные разведки.

Расхождение может иметь как положительный, так и отрицательный знак. Положительный знак расхождения показывает, что при разработке месторождения запасы полезного ископаемого и подсчетные параметры увеличились; отрицательный знак свидетельствует о неподтверждении (уменьшении) запасов или подсчетных параметров по результатам разработки.

Для количественной оценки расхождений параметров целесообразно рассчитывать статистические характеристики, используемые при обработке данных внутреннего и внешнего контроля качества работы химических лабораторий: F -критерий Фишера, t -критерий Стьюдента, коэффициенты вариации, коэффициенты корреляции, уравнения регрессии и др. (см. п. 7.5.3).

Все статистически значимые расхождения между значениями параметров должны получить объяснение с точки зрения причинной обусловленности. Причины выявленных расхождений могут быть связаны с недостатками не только разведки, но и эксплуатации.

Недостатки геологоразведочных работ могут быть обусловлены:

- слабой изученностью геологического строения месторождения, неправильной интерпретацией его структуры, формы тел полезных ископаемых, показателей их качества;
- низким качеством бурения (неудовлетворительным выходом или состоянием керна, избирательным истиранием, искривлением стволов скважин), проходки горных выработок (неполнота пересечения тел) и геофизических работ;
- низкой разрешающей способностью технических средств разведки;
- ошибками отбора, обработки и анализа проб, определения объемной массы;
- методическими и техническими ошибками определения параметров подсчета запасов;

- методическими ошибками оконтуривания, интерполяции и экстраполяции, подсчета запасов;
- несоответствием параметров разведочных кондиций геологическим особенностям месторождения.

Недостатки разработки месторождения могут связаны:

- с несоответствием технологии добычи полезного ископаемого особенностям геологического строения месторождения, утвержденным кондициям;
- несоблюдением утвержденных кондиций при добыче полезного ископаемого;
- методическими и техническими погрешностями проходки эксплуатационных выработок;
- ошибками, допущенными при проведении опробования, в том числе с опробованием тел полезных ископаемых не на полную мощность;
- низким качеством аналитических работ;
- методическими ошибками определения подсчетных параметров, оконтуривания и подсчета запасов;
- неполнотой выемки полезного ископаемого из недр;
- неправильным учетом потерь и разубоживания.

Одной из возможных причин расхождений данных разведки и эксплуатации может быть изменение кондиционных требований (например, введение эксплуатационных кондиций в связи с изменением ценовой конъюнктуры рынка на минеральное сырье).

По результатам сопоставления данных разведки и разработки устанавливается влияние расхождений в значениях каждого параметра на общее изменение количества разведанных запасов и технико-экономических показателей горнодобывающего предприятия. В случае выявления систематических погрешностей в определении параметров оцениваются их величина и целесообразность введения поправочных коэффициентов.

Поправочные коэффициенты к запасам и качеству полезного ископаемого определяются и применяются отдельно для каждой залежи (тела) и категории запасов. Распространять результаты сопоставления данных разведки и разработки, полученные по представительному участку, на неотработанные части месторождения можно только в том случае, если доказана идентичность особенностей их геологического строения и применявшейся методики разведки, опробования и подсчета запасов.

Для оценки надежности данных эксплуатационной разведки и геолого-маркшейдерского учета *рекомендуется сравнивать запасы, подсчитанные в очистном пространстве, с данными весового учета, товарного опробования и данными переработки полезного ископаемого на фабрике (заводе).* При

наличии расхождений в количестве и качестве добытого и переработанного (с учетом складированного) минерального сырья устанавливаются причины расхождений (погрешности эксплуатационной разведки и эксплуатационного опробования; недостоверный учет потерь и разубоживания при добыче, количества отгруженного минерального сырья, потерь при транспортировке и переработке, извлечения при обогащении и др.) и оценивается их влияние на изменение баланса полезного ископаемого и полезных компонентов.

При сопоставлении данных разведки и разработки проводится также *анализ подтверждаемости представлений о технологических свойствах полезных ископаемых, горнотехнических и гидрогеологических условиях разработки* месторождения и оценивается *соответствие им применяемых систем отработки, способов обогащения и схем переработки* минерального сырья.

По результатам сопоставления данных разведки и разработки даются рекомендации, направленные на повышение достоверности разведочных данных и совершенствование методики геологоразведочных работ.

Материалы сопоставления данных разведки и разработки помещаются в специальном разделе отчета с подсчетом запасов, а при большом объеме материала – в отдельном томе (самостоятельном отчете).

Подсчет запасов и сводная графика по данным эксплуатационной разведки и эксплуатационного опробования составляются в соответствии с требованиями, предъявляемыми к подсчету запасов полезных ископаемых по данным геологоразведочных работ.

Раздел «Сопоставление данных разведки и разработки» должен состоять из основного текста, табличных и графических приложений.

При проведении исследований по сопоставлению данных разведки и разработки следует руководствоваться «Методическими рекомендациями по сопоставлению..., 2007».

9. ОСНОВЫ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

9.1. Общие положения

Геолого-экономическая оценка месторождений проводится *с целью определения возможности их промышленного освоения*; осуществляется на стадиях поисковых, оценочных и разведочных работ, а при необходимости и при эксплуатации.

Основные *задачи* геолого-экономической оценки месторождений:

- определение количества и качества балансовых (экономических) и забалансовых (потенциально экономических) запасов, а также кондиций для их подсчета;
- выбор перспективных месторождений для определения направления развития минерально-сырьевой базы и геологоразведочных работ;
- определение экономических показателей разработки объектов, передаваемых в недропользование;
- расчет технико-экономических показателей, характеризующих промышленную ценность месторождения и эффективность его будущего освоения.

Объектом геолого-экономической оценки могут быть: отдельное месторождение; участок крупного месторождения; группа сближенных месторождений, на базе которых возможно строительство горнодобывающего предприятия. Объектом самостоятельной оценки может быть также участок первоочередной отработки.

9.2. Последовательность проведения геолого-экономической оценки месторождений

Геолого-экономическая оценка месторождений, включая составление технико-экономического обоснования (ТЭО) временных и постоянных кондиций, осуществляется путем анализа и оценки всех факторов, на основе которых разрабатывается проект их освоения. Анализ и оценке подлежат:

- информация о недропользователе, его права и обязанности, определенные лицензионным соглашением; состав акционеров и их доли в уставном капитале; состав совета директоров; структурная взаимосвязь с другими добывающими и перерабатывающими предприятиями;
- экономико-географическое положение месторождения, транспортные связи, климат, рельеф, сейсмические условия, освоенность района, население

и его занятость, существующие и возможные источники энерго-, топливо- и водоснабжения, районные и специальные удорожающие коэффициенты, наличие нефте- и газопроводов, сельскохозяйственных объектов и памятников истории и культуры, водоохранных зон, а также других объектов, под которыми оставляются охранные целики или применяются специальные системы отработки запасов;

- горно-геологические, гидрогеологические, геокриологические и другие природные условия месторождения;

- качественные и количественные характеристики разведанных запасов и содержащихся в них ценных компонентов и вредных примесей;

- результаты полупромышленных (промышленных) технологических испытаний основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых;

- оптимальные способы (открытый, подземный, комбинированный, геотехнологический) и системы разработки месторождения;

- предполагаемая схема обогащения и металлургического передела минерального сырья;

- номенклатура товарной продукции, направление и условия ее рыночной реализации;

- оценка воздействия эксплуатации месторождения на окружающую среду и перечень необходимых природоохранных мероприятий.

9.3. Кондиции для подсчета запасов

Геолого-экономическая оценка месторождений базируется на количестве и качественной характеристике запасов полезных ископаемых, подсчет которых ведется на основе действующих кондиций.

Кондиции – это совокупность экономически обоснованных требований к количеству и качеству полезного ископаемого в недрах конкретного месторождения, а также к горнотехническим условиям его разработки и переработки.

Кондиции устанавливаются для всех стадий геологоразведочных работ, начиная со стадии «Поисковые работы». Выделяют следующие виды кондиций:

- *браковочные* – действуют на стадии «Поисковые работы»;
- *временные* – применяются на стадии «Оценочные работы»;
- *постоянные* – используются на стадии «Разведка месторождения»;
- *эксплуатационные* – могут быть разработаны и утверждены на определенный срок для действующих горнодобывающих предприятий и использоваться при доразведке и эксплуатационной разведке.

Браковочные кондиции выбираются по принципу аналогии; временные, постоянные и эксплуатационные определяются путем проведения специальных технико-экономических расчетов, оформляемых в виде специального документа – ТЭО кондиций.

Особой разновидностью постоянных кондиций являются *районные кондиции*, составляемые для однотипных групп небольших россыпных месторождений золота, платиноидов и алмазов. Районные кондиции служат для оперативной оценки промышленного значения новых месторождений, т. е. соответствуют временным разведочным, но по сложившейся практике их используют также в качестве разведочных и эксплуатационных для небольших россыпных месторождений с запасами до 500 кг.

Для месторождений общераспространенных полезных ископаемых ТЭО разведочных кондиций для каждого объекта может не разрабатываться. В таких случаях подсчетные параметры для оценки месторождений устанавливаются в соответствии с требованиями действующих нормативных документов и технических условий заказчика.

Кондиции – категория временная. Они могут изменяться по мере развития и совершенствования техники, технологии, изменения рыночных цен.

Кондиции не характеризуют оптимальных условий разработки месторождения, так как не содержат сведений о среднем качестве полезного ископаемого. Кондиционные требования соответствуют предельным значениям важнейших горно-геологических параметров, при которых еще обеспечивается экономическая целесообразность разработки месторождения.

Определение кондиционных требований для подсчета запасов твердых полезных ископаемых производится в соответствии с «Методическими рекомендациями по технико-экономическому обоснованию кондиций...», 2007».

Основные параметры кондиций

В разведочных кондициях для подсчета балансовых запасов *рудных полезных ископаемых* обосновываются следующие подсчетные параметры:

1. *Минимальное промышленное содержание полезного компонента (или приведенное к содержанию условного компонента) в подсчетном блоке* – это предельное среднее содержание полезного компонента в оцениваемом блоке недр, при котором промышленное использование полезного ископаемого еще экономически целесообразно. Сопутствующие компоненты учитываются в единицах условного компонента; перевод их содержаний осуществляется с помощью коэффициентов, учитывающих рыночную стоимость каждого из них и

плановые коэффициенты извлечения в готовую продукцию. Содержание условного компонента $C_{усл}$ определяется по формуле

$$C_{усл} = C_{гл} + \sum k_i \cdot C_i,$$

где $C_{гл}$ – содержание главного компонента; C_i – содержания остальных компонентов.

Переводные коэффициенты (k_i) находятся по формуле

$$k_i = C_i \cdot \varepsilon_i / C_{гл} \cdot \varepsilon_{гл},$$

где $C_{гл}$ и C_i – действующие рыночные цены компонентов; $\varepsilon_{гл}$ и ε_i – извлечение главного и сопутствующего компонентов, соответственно.

Расчет минимального промышленного содержания производится по равенству издержек производства на добычу и переработку 1 т полезного ископаемого и стоимости извлекаемых из него ценных компонентов. Являясь предельным, минимальное промышленное содержание гарантирует лишь возврат произведенных затрат, но не обеспечивает получение прибыли (нулевая рентабельность). Получение прибыли возможно только при эксплуатации блоков, среднее содержание полезного компонента в которых выше минимального промышленного.

Основное назначение минимального промышленного содержания – разделение запасов на балансовые и забалансовые.

2. *Бортовое содержание полезного компонента (или условного компонента) в пробе*, устанавливаемое при отсутствии четких геологических границ рудного тела, отдельно для балансовых и забалансовых руд. Может изменяться от минимального промышленного содержания до содержания (теоретически) в отходах производства. Бортовое содержание должно обеспечивать максимальную эффективность разработки месторождения. Чем ниже бортовое содержание, тем крупнее и проще модель залежи полезного ископаемого. Однако снижение бортового содержания приводит к разубоживанию (снижению качества) полезного ископаемого – большее его количество должно быть подвергнуто добыче и переработке.

Бортовое содержание определяется на основе повариантных технико-экономических расчетов. Число вариантов бортового содержания и их «шаг» должны обеспечивать выбор оптимальной величины этого параметра. Как правило, используется не менее трех вариантов со значениями большими и меньшими по отношению к рекомендуемому. В процессе разведки и разработки месторождения значения бортового и минимального промышленного содержания могут периодически пересматриваться в зависимости от ценовых, технологических и других факторов.

3. *Условия оконтуривания рудных тел в геологических границах.* Содержат описание критериев, по которым устанавливаются эти границы.

4. *Минимальное содержание полезного компонента (условного компонента) по пересечению рудного тела краевой выработкой* для его оконтуривания по простиранию и падению. Используется в случае необходимости во избежание неоправданного исключения из числа балансовых запасов краевых частей подсчетных блоков, содержание полезных компонентов в которых ниже минимального промышленного, но достаточно для покрытия затрат по их добыче и переработке.

5. *Коэффициенты для приведения в комплексных рудах содержаний полезных компонентов к содержанию условного основного компонента; минимальные содержания компонентов, учитываемые при таком приведении.*

6. *Максимально допустимое содержание вредных примесей* в подсчетном блоке, по пересечению, интервалу или в пробе. Максимальное содержание вредных примесей устанавливается в соответствии с требованиями государственных или отраслевых стандартов (ГОСТ или ОСТ) или технических условий (ТУ) к полезному ископаемому или к продуктам его переработки.

7. *Требования к выделению при подсчете запасов типов и сортов полезного ископаемого*, подлежащих раздельной выемке исходя из технологических свойств, определяющих различные способы переработки или различные области использования сырья.

8. *Перечень попутных компонентов* (раздельно по технологическим типам полезных ископаемых), по которым необходимо подсчитать запасы.

9. *Минимальный коэффициент рудоносности в подсчетном блоке* для месторождений с прерывистым или гнездовым распределением полезных компонентов, когда кондиционные руды по геологическим или горно-геологическим критериям не могут быть оконтурены и подсчет запасов производится в контурах рудоносной зоны (залежи, тела) статистически. Использование коэффициента рудоносности ниже минимально допустимого вследствие интенсивного разубоживания приводит к экономической неэффективности отработки подсчетного блока. Коэффициент рудоносности K_p определяется по формуле

$$K_p = \frac{\sum_{i=1}^n l_p}{\sum_{i=1}^n l_p + \sum_{i=1}^n l_n},$$

где l_p – длина рудного подсечения, l_n – длина нерудного подсечения разведочной выработкой.

10. *Минимальная промышленная мощность тел полезных ископаемых* обеспечивает возможность отработки залежи полезного ископаемого без выемки вмещающих пород или с их выемкой, но с разубоживанием, обеспечивающим экономическую эффективность разработки.

11. *Минимальный метропроцент (метрограмм)*, при необходимости – минимальные мощности тел полезного ископаемого по типам, сортам (маркам) используется при оконтуривании рудных тел по разведочным пересечениям, имеющим мощность ниже минимальной промышленной, но содержание компонента в которых существенно выше бортового. Минимальный метропроцент $МПр_{мин}$ (для благородных металлов – метрограмм) рассчитывается по формуле

$$МПр_{мин} = C_b \times M_{мин},$$

где C_b – бортовое содержание полезного (условного) компонента, $M_{мин}$ – минимальная промышленная мощность.

12. *Максимально допустимая мощность прослоев пустых пород или некондиционных руд, включаемых в подсчетный контур запасов*. Включение в контур подсчета запасов большого числа интервалов пустых пород и руд с содержанием ниже бортового приводит к разубоживанию полезного ископаемого, что может привести к нерентабельности отработки оконтуриваемого блока.

13. *Минимальные запасы изолированных тел полезных ископаемых* определяются из расчета окупаемости капитальных вложений на проходку подводящих выработок и проведение очистных работ при их отработке с учетом заложеной в проекте нормы прибыли.

14. *Максимальная глубина подсчета запасов; предельный коэффициент вскрыши* (для открытого способа разработки). В кондициях указывается глубина (абсолютная отметка) подсчета запасов, которая должна соответствовать глубине разработки месторождения. При применении комбинированного способа разработки подсчет запасов ведется раздельно: для открытой и подземной эксплуатации.

15. *Требования к физико-механическим и другим свойствам полезного ископаемого* в соответствии с нормативами, установленными ГОСТами, ОСТами и ТУ (для отдельных видов минерального сырья).

16. *Требования к горнотехническим условиям отработки, качеству минерального сырья, технологическим свойствам совместно залегающих полезных ископаемых* в перекрывающих, подстилающих или вмещающих породах.

17. *Специальные требования к горно-геологическим условиям отработки* (гидрогеологическим, инженерно-геологическим, геокриологическим и др.).

При комплексной оценке месторождений *нерудных полезных ископаемых* требования к качеству сырья и горнотехническим условиям отработки устанавливаются *применительно к каждой из намеченных областей его использования*.

В зависимости от геологического строения месторождения, горно-геологических условий разработки, состава полезного ископаемого и требований промышленности *кондициями устанавливаются только те параметры, которые необходимы для геолого-экономической оценки данного месторождения*.

9.4. Подсчет запасов

Запасы полезных ископаемых – это их количество, заключенное в геометризованных участках недр. Термин «геометризованный» означает, что для участка создана графическая модель, базирующаяся на данных разведочных пересечений (скважин, горных выработок), пространственное положение которых определено инструментальными методами.

Запасы полезных ископаемых измеряются в единицах массы или объёма. В единицах массы, преимущественно в тоннах, определяются запасы большинства полезных ископаемых. При этом устанавливаются как запасы полезного ископаемого (руды, песков – на россыпных месторождениях), так и запасы полезного компонента.

Для руд черных металлов (железа, марганца, хрома, ванадия, титана), а также бокситов определяются только запасы руды (в тоннах) с указанием среднего содержания полезного компонента. В тоннах определяются также запасы каменного угля.

Запасы благородных металлов (золото, платина, серебро) определяются в килограммах. В некоторых странах запасы золота оцениваются в «тройских унциях» (31,103 г). Запасы алмазов и драгоценных камней подсчитываются в каратах (1 кар = 0,2 г). Запасы песков россыпных месторождений, а также строительных материалов – в м³.

Запасы большинства полезных ископаемых подсчитываются с точностью до целого числа, а для благородных металлов (золота, серебра, платины и др.) – до 0,1 единицы измерения.

9.4.1. Основные формулы подсчета запасов

Запасы полезного ископаемого (Q), выраженные в единицах массы, определяются по формуле

$$Q = V \times d,$$

где V – объем тела полезного ископаемого или его части, для которой производится подсчет запасов; d – объемная масса полезного ископаемого.

Объемная масса – это масса единицы объема полезного ископаемого или горной породы в недрах с учетом пор, пустот, трещин и влаги. По этой причине она всегда меньше (или равна) их плотности. Определяется, как и влажность, при техническом опробовании для каждого природного типа и сорта полезного ископаемого. Единицы измерения объемной массы: г/см³, кг/дм³, т/м³.

Объемная масса полезного ископаемого, как отмечено выше, определяется в естественном состоянии с учетом присутствующей в нем влаги. Запасы полезного ископаемого подсчитываются «на абсолютно сухую руду», поэтому при подсчете запасов в объемную массу (d) вносится поправка на влажность по формуле

$$d = \frac{d_0(100-w)}{100},$$

где d_0 – объемная масса сырой руды; w – массовая доля влаги, %.

Важность учета влажности при подсчете запасов следует из нижеприведенных данных. Так, влажность руд Березовского золоторудного месторождения составляет 2–3,6 %; углей Кузбасса 4–9 %, Подмосковского угольного бассейна 8–38 %; марганцевых руд Никопольского бассейна – до 26 %; силикатных никелевых руд Аккермановского месторождения – 34,3 %.

Запасы полезного ископаемого (V), выраженные в единицах объема, определяются по формуле

$$V = S \times m,$$

где S – площадь тела полезного ископаемого или его части; m – средняя мощность.

Запасы полезного компонента в недрах (P) определяются через его среднее содержания (c) по формулам:

1) если среднее содержание компонента выражено в мг/т, кар/т, г/т или кг/т, то

$$P = Q \times c;$$

2) если среднее содержание компонента выражено в масс. % (массовая доля, %), то

$$P = \frac{Q \times c}{100};$$

3) если среднее содержание компонента выражено в мг/м³, кар/м³, г/м³ или кг/м³, то

$$P = V \times c.$$

9.4.2. Методические операции при подсчете запасов

Подсчет запасов выполняется в следующей последовательности: оконтуривание залежей и выделение подсчетных блоков; определение площадей, средних мощностей подсчетных блоков, средних содержаний компонентов в них; определение объемов, запасов полезного ископаемого и запасов полезных компонентов.

Оконтуривание залежей полезных ископаемых

Оконтуривание заключается в построении границ залежей и их отдельных частей, отличающихся по особенностям геологического строения и степени разведанности. Для этого на геологические планы и разрезы, построенные на маркшейдерской основе, выносятся данные геологической документации и опробования горных выработок, скважин и естественных обнажений. По ним с учетом кондиционных требований производится последовательное оконтуривание залежей: вначале *по разведочным пересечениям* – скважинам, горным выработкам, далее – *на разрезах и погоризонтных планах* и, окончательно, *на горизонтальных проекциях* (при углах падения залежей <45°) или *продольных вертикальных проекциях* залежей (при углах падения >45°), редко – на усредненных плоскостях падения. На указанных проекциях должны быть построены границы подсчетных блоков. Каждому блоку присваивается порядковый номер с указанием категории разведанности. Сводные результаты подсчета запасов группируются с учетом их балансовой принадлежности, категорий разведанности, выделяемых промышленных типов и сортов руд, а также в соответствии с требованиями, установленными кондициями в отношении горнотехнических условий отработки. Эти данные представляются в табличной форме.

Виды контуров. Принято выделять следующие виды контуров залежей полезных ископаемых: *нулевой, балансовый (промышленный), забалансовый*. По способу построения они могут быть внутренними и внешними.

В пределах контуров балансовых и забалансовых руд выделяют контуры запасов категорий, а в пределах последних – контуры подсчетных блоков.

Нулевой контур соответствует полному выклиниванию тела полезного ископаемого и отстраивается для установления характера оруденения и перспектив его распространения. Обычно представляет собой линию выклинивания рудного тела по мощности или линию прекращения рудной минерализации. Часто совпадает с пострудными разрывными нарушениями, смещающими рудные тела; интрузивными контактами; границами зон выветривания, окисления и т. п. При подсчете запасов используется лишь в случаях совпадения с контурами балансовых, забалансовых руд, категорий запасов, подсчетных блоков.

Контур балансовых руд строится в соответствии с кондициями для балансовых руд, а *забалансовых* – в соответствии с кондициями для забалансовых руд.

Внутренний контур проводится через крайние разведочные пересечения, встретившие кондиционное полезное ископаемое; *внешний* – через точки предполагаемых естественных или условных (экстраполированных) границ распространения залежи (рис. 9.1).

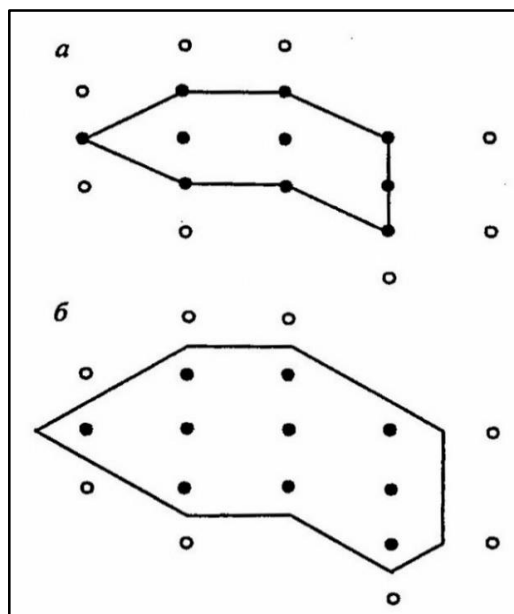


Рис. 9.1. Контуры рудного тела на горизонтальной проекции: а – внутренний; б – внешний (по Г. С. Порохову, 2004)

● – скважины с кондиционными параметрами,
○ – скважины с некондиционными параметрами

Построение границ подсчетных блоков по опорным точкам: скважинам, горным выработкам, естественным обнажениям с учетом геофизических данных является наиболее надежным методом оконтуривания подсчетных блоков. Широко применяются также менее надежные *методы интерполяции и экстраполяции* геологических данных.

Интерполяция используется для построения границ между пробами с содержаниями полезного компонента или значениями метропроцента выше и ниже кондиционных, а также между выработками с кондиционной и некондиционной мощностями.

Положение границы находится путем графической (рис. 9.2) или численной интерполяции. Численная интерполяция производится по формуле

$$x = \frac{m_1 - m_{\text{конд}}}{m_1 - m_2} h,$$

где x – расстояние от выработки с кондиционной мощностью рудного тела до искомой точки, в которой предполагаемая мощность рудного тела равна минимально промышленной; m_1 – мощность по скв. 1; $m_{\text{конд}}$ – минимально промышленная мощность; m_2 – мощность по скв. 2, имеющей некондиционную мощность; h – расстояние между выработками.

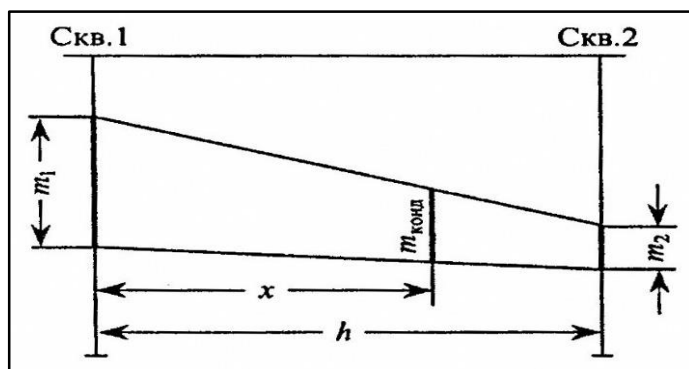


Рис. 9.2. Пример интерполяции мощности между кондиционной и некондиционной скважинами (по Г. С. Поротову, 2004)

Экстраполяция при подсчете запасов применяется для построения внешнего контура в случаях, когда необходимо провести его за пределами размещения кондиционных разведочных выработок. Различают несколько видов экстраполяции: ограниченная, неограниченная, по углу выклинивания тела полезного ископаемого и подвеска запасов.

Ограниченная экстраполяция применяется на периферических участках залежей, где разведочными выработками установлено отсутствие полезного ископаемого. Внешний контур в этих случаях строится на расстоянии, равном половине расстояния между кондиционной и безрудной выработками.

Неограниченная экстраполяция применяется на участках, где выклинивание залежи не установлено. В этом случае положение контура экстраполируется на величину, равную половине расстояния между крайней выработкой и ближайшей к ней выработкой внутри залежи (рис. 9.3).

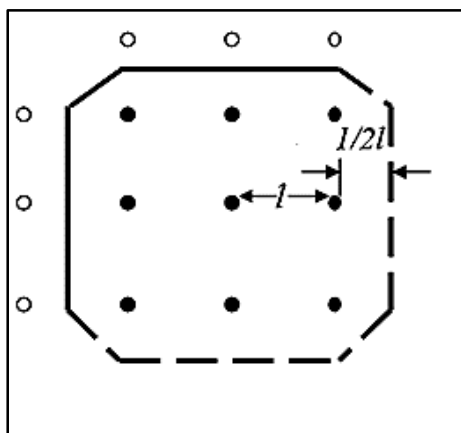


Рис. 9.3. Схема построения внешнего контура рудного тела методами ограниченной и неограниченной экстраполяции:

- – кондиционная скважина,
- – безрудная скважина;
- l – расстояние между скважинами;
- — — контур, построенный методом ограниченной экстраполяции;
- — — контур, построенный методом неограниченной экстраполяции

Экстраполяция по среднему углу выклинивания (φ) применяется в тех случаях, когда наблюдается устойчивое выклинивание рудного тела и можно путем графических построений достаточно точно определить положение нулевого и промышленного контуров (рис. 9.4).

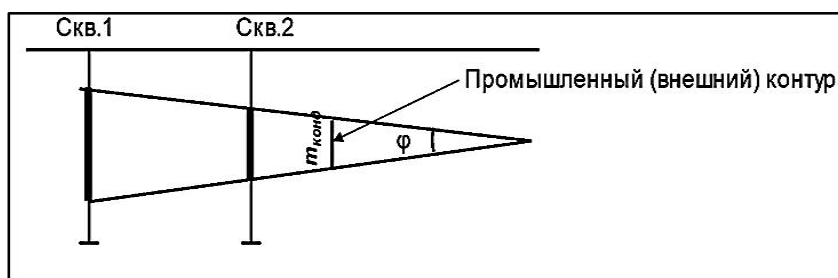


Рис. 9.4. Схема определения положения промышленного контура по среднему углу выклинивания

Подвеска – особый вид экстраполяции, когда залежь экстраполируется на глубину, равную 0,3–0,4 части ее длины по простиранию в вышележащих блоках более высоких категорий (рис. 9.5).

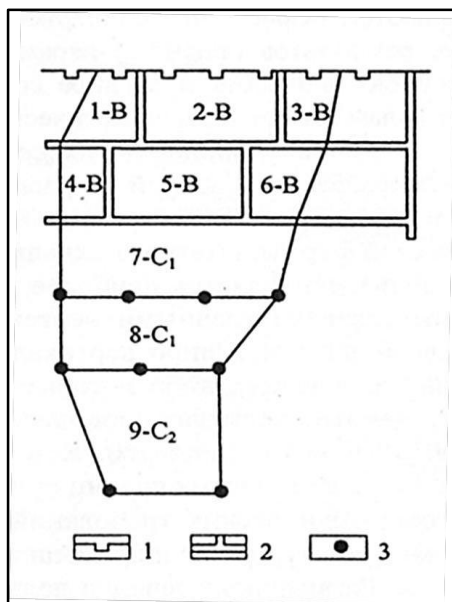


Рис. 9.5. Блокировка запасов крутопадающего рудного тела на продольной вертикальной проекции (по Г. С. Порозову, 2004):
1 – канавы; 2 – штреки и восстающие; 3 – скважины

Определение площадей подсчетных блоков

Определение площадей подсчетных блоков производится на сводных планах подсчета запасов или на сводных продольных вертикальных проекциях. Наиболее распространенными способами определения площадей являются: *геометрический, с помощью планиметров, с помощью палеток, с использованием ГИС-технологий.*

Геометрический способ применяется в тех случаях, когда контур подсчетного блока представляет собой фигуру, ограниченную прямыми линиями. Определяемая площадь разбивается на элементарные фигуры (треугольники, прямоугольники, трапеции), площади которых рассчитываются по известным геометрическим формулам. Площадь блока определяется как сумма площадей элементарных фигур, выраженная в масштабе плана (проекции). Способ достаточно прост, но при малых размерах фигур (менее 4–5 см на плане) не обеспечивает достаточной точности.

Планиметрический способ. Планиметры – приборы для определения площадей плоских фигур. Они представляют собой систему двух шарнирно соединенных рычагов: полюсного и обводного. Последний соединен со счетно-решающим устройством. В зависимости от типа счетно-решающего устройства

планиметры бывают механические (например, ранее широко применявшийся планиметр Амслера) и электронные. В настоящее время используют в основном электронные планиметры, которые более точны и удобны в работе. На рис. 9.6 в качестве примера приведена фотография электронного планиметра

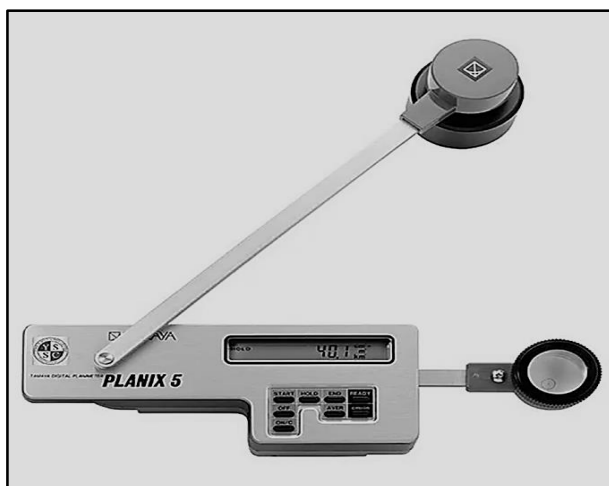


Рис. 9.6. Электронный планиметр PLANIX-5 (компания TAMAYA, Япония)

Определение площади производится путем ручной обводки штифтом обводного рычага (трассера) контура измеряемой фигуры. Результаты измерений отображаются в виде значений площадей на жидкокристаллическом дисплее счетно-решающего механизма. Площади измеряются в квадратных сантиметрах или в квадратных дюймах. Для повышения точности обводка осуществляется несколько раз. В качестве «истинного» принимается среднееарифметическое значение. Перевод площадей, определенных на чертежах, в числовые значения на местности осуществляется через масштаб.

Определение площадей с помощью палеток. Палетки представляет собой прозрачные пластинки из стекла, целлулоида или кальки, на которые наносятся квадраты, угловые точки квадратов или параллельные прямые. В соответствии с этим палетки называются квадратными, точечными и линейными (рис. 9.7). Стороны квадратов на палетках первых двух разновидностей принимаются равными 0,5 или 1 см.

Измерение площадей с помощью квадратных палеток производится следующим образом. Палетка накладывается на чертеж, на котором изображены контуры залежи. Осуществляется подсчет количества квадратов, попавших

в контур. Площади неполных квадратов оцениваются визуально. Эти данные суммируются. Площадь залежи вычисляется путем умножения площади единичного квадрата (с учетом масштаба чертежа) на их количество. Операцию проводят несколько раз (обычно три) при разной ориентировке палетки относительно контура. Окончательное значение площади вычисляется как среднее арифметическое из частных замеров.

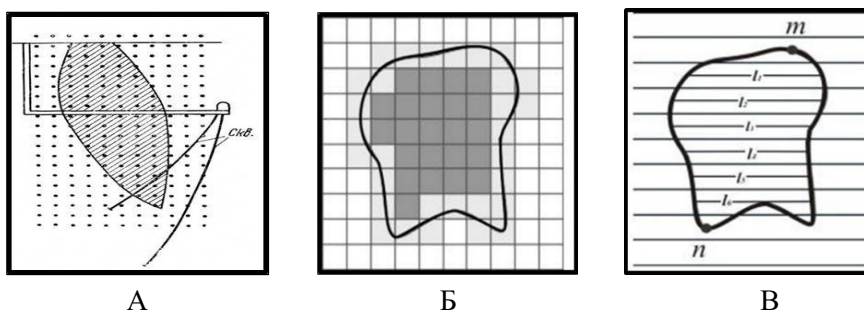


Рис. 9.7. Разновидности палеток: А – квадратная; Б – точечная; В – линейная

Измерение площадей с помощью точечных палеток производится аналогично: подсчитывается количество точек, попавших в контур. Точки, размещающиеся на контуре, учитываются с коэффициентом равным 0,5. Площадь залежи определяется как произведение суммарного количества точек и площади квадрата, соответствующего одной точке.

На линейных палетках через равные расстояния (2–5 мм) изображается серия параллельных прямых. Так как линии палетки расположены на небольшом расстоянии друг от друга, то отсекаемые ими полосы условно можно считать прямоугольниками, длины которых соответствуют длинам средних линий ($l_1, l_2, l_3, \dots$). Измерив длины средних линий, умножаем их на расстояние между линиями палетки, получаем площадь каждого элементарного прямоугольника. Просуммировав вычисленные площади, находим площадь всего участка. Для контроля площадь залежи измеряют повторно, ещё раз наложив палетку по возможности так, чтобы крайние точки m и n контура находились на линиях палетки. Среднее значение расчетов до и после повторного наложения и принимают за площадь участка местности.

Измерение площадей с помощью палеток отличается меньшей достоверностью по сравнению с другими способами. Это обусловлено невысокой точностью определения площадей фигур сложной морфологии, особенно их периферических частей.

Измерение площадей с использованием ГИС-технологий. В настоящее время данный способ становится практически основным. Возможность и точность выполнения измерений во многом определяются выбранной моделью данных (векторной или растровой), точностью оцифровки данных для векторных объектов или размером ячейки – для растровых и др.). Операция определения площади в ГИС-пакетах обычно реализована в виде специальной функции Area, представленной отдельным пунктом меню. Площади растровых полигонов рассчитываются по сумме ячеек растра с одинаковыми числовыми значениями. При известной длине стороны ячейки растра сумма ячеек пересчитывается в плоскостные единицы измерения, что весьма напоминает определение площади с помощью квадратной палетки.

Определение мощности залежей

Мощность залежей полезных ископаемых определяется на основе данных, полученных путем ее измерения в горных выработках и скважинах при их документации.

Мощности тел полезных ископаемых в горных выработках и естественных обнажениях устанавливаются путем непосредственных замеров расстояний от кровли до подошвы. Если залежь имеет четкие границы, ее мощность может быть определена с точностью до 0,01 м. Если границы нечеткие, положение кровли и подошвы устанавливается по данным секционного опробования в соответствии с принятыми в кондициях бортовыми содержаниями главных компонентов.

По буровым скважинам мощность путем непосредственного замера может быть определена лишь в тех случаях, когда линейный выход керна по полезному ископаемому равен 100 %; причем керна сохранил структуру и контакты кровли и подошвы залежи не нарушены. В большинстве случаев мощность рудных тел оценивается по комплексу признаков с учетом визуальных наблюдений, данных секционного опробования, сведений о длине керна, параметрах процесса бурения и данных каротажа.

Погрешность измерения мощности при этом часто носит систематический характер. Величина и знак погрешности зависят от мощности рудных тел, их строения, физико-механических свойств полезного ископаемого и вмещающих пород, техники и технологии бурения, каротажа и т. п. При анализе достоверности определения мощности тел полезных ископаемых, полученной по данным бурения, важную роль играет сравнение данных разведочного бурения и эксплуатации как на изучаемом месторождении, так и на месторождениях

того же геолого-промышленного типа, встречающихся в районе. При подсчете запасов следует тщательно проверить, проанализировать и обосновать значение мощности по каждой скважине.

Замеры мощностей по отношению к залежам полезных ископаемых могут иметь различную ориентировку. В процессе документации горных выработок, обнажений, скважин могут быть определены следующие виды мощностей: истинная (нормальная) m_u , горизонтальная m_z , вертикальная m_v , произвольная (другие названия – косая, видимая) m_c (рис. 9.8).

При небольшой мощности тела полезного ископаемого в горных выработках можно непосредственно измерить истинную мощность. При большой мощности в квершлагах, ортах и других горизонтальных выработках измеряется горизонтальная мощность.

В буровых вертикальных скважинах измеряется вертикальная мощность, которая при горизонтальном залегании залежей совпадает с нормальной. В наклонных скважинах и некоторых горных выработках измеряется косая мощность.

При подсчете запасов в зависимости от особенностей построения подсчетных проекций, планов, разрезов, что обусловлено выбранным методом подсчета запасов, все замеренные мощности приводят к одному виду. Так, если блокировка запасов изображена на продольной вертикальной проекции рудного тела, то при расчетах объемов блоков используется горизонтальная мощность. Если блокировка запасов показана на горизонтальной проекции, то в расчетах используется вертикальная мощность. Если подсчет запасов производится по проекции, составленной в плоскости рудного тела, необходимо применять истинную (нормальную) мощность. Переход между основными видами мощностей (истинной, горизонтальной и вертикальной) производится по формулам: $m_u = m_z \cdot \sin \delta$; $m_z = m_u / \sin \delta$; $m_u = m_v \cdot \cos \delta$; $m_v = m_u / \cos \delta$; $m_z = m_v \cdot \operatorname{ctg} \delta$; $m_v = m_z \cdot \operatorname{tg} \delta$, где δ – истинный угол падения залежи.

Если в скважине или горной выработке измерена косая мощность m_c , то тогда:

1) в вертикальных сечениях вкрест простирания рудного тела истинная мощность определяется по формуле

$$m_u = m_c \cdot \cos (\delta - \theta);$$

2) в вертикальных сечениях, неперпендикулярных простиранию рудного тела, истинная мощность вычисляется по формуле

$$m_u = m_c \cdot \cos (\delta - \theta) \cdot \cos \gamma,$$

где θ – зенитный угол (угол между вертикалью и осью разведочной выработки), γ – угол между азимутом выработки и азимутом падения тела полезного ископаемого.

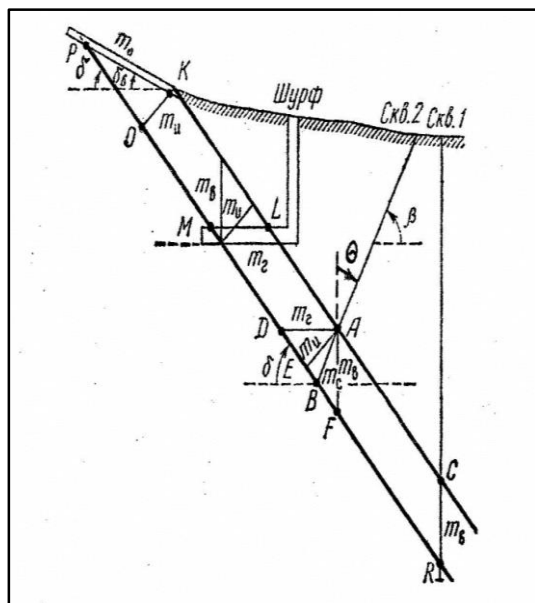


Рис. 9.8. Различные виды мощностей рудного тела (условные обозначения и пояснение в тексте)

При равномерной разведочной сети средняя мощность залежи в подсчетном блоке рассчитывается по формуле среднего арифметического

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n},$$

где m_i – частные значения мощности; n – количество замеров.

При неравномерной разведочной сети используется формула среднего взвешенного

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot l_i}{\sum_{i=1}^n l_i},$$

где l_i – расстояние, на которое распространяется влияние значения данного замера мощности.

Определение средних содержаний компонентов

Содержания компонентов в пробах могут быть определены в различных единицах:

– в виде массовой доли элемента, выраженной в % (для железа, марганца, свинца, цинка, меди, никеля, сурьмы, ртути, олова и др.);

– массовой доли оксидов, выраженной в % (для вольфрама – WO_3 , хрома – Cr_2O_3 , фосфора – P_2O_5 , ниобия – Nb_2O_5 , тантала – Ta_2O_5 , лития – LiO_2 и т. п.);
 – массовой доли минерала, выраженной в кг/м³ (для слюды, пьезокварца, исландского шпата и т. п.); в г/м³ (в россыпях – для золота, платины, касситерита, вольфрамита, циркона, монацита и т. п.); в мг/м³ или кар/м³ (для алмазов); в г/т (в коренных месторождениях золота, серебра, платины и т. п.).

Средние содержания компонентов вычисляют последовательно: сначала по разведочным пересечениям (горным выработкам и скважинам), затем – по разрезам и планам, подсчетным блокам, участкам и по месторождению в целом. Средние содержания вычисляются по формулам среднего арифметического или среднего взвешенного.

Формула среднего арифметического

$$\bar{C}_{ap} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} = \frac{C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n}{n},$$

где $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ – содержания компонентов в пробах; n – число проб.

Формула среднего взвешенного

$$\bar{C}_{вз} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i} = \frac{C_1 l_1 + C_2 l_2 + C_3 l_3 + \dots + C_n l_n}{l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_n},$$

где l_i – расстояние, на которое распространяется влияние содержания компонента в пробе.

При подсчете запасов в подавляющем *большинстве случаев осуществляют расчеты средневзвешенных содержаний*. Взвешивание содержаний производят на длины проб, на длины разведочных пересечений, на площади сечений тела полезного ископаемого, на объемы его отдельных частей. *Формула среднего арифметического имеет ограниченное применение* и используется только при постоянстве параметров взвешивания (длин проб, расстояний между пробами и т. п.).

Учет ураганных проб. На месторождениях с весьма и крайне неравномерным распределением полезного компонента (золото, платина, алмазы и др.) встречаются пробы с содержаниями, значительно (в несколько раз) превышающими их концентрацию в большей части остальных проб. Это и есть так называемые «ураганные» пробы. Их появление обусловлено несоответствием геометрической базы «ураганных» проб текстурно-структурным особенностям полезного ископаемого. В зарубежной литературе это явление известно

под названием, предложенным Ж. Матероном, – эффект самородков [nugget effect – англ.].

При определении средних содержаний компонентов по подсчетным блокам возникает проблема: какие пробы считать «ураганскими» и как их учитывать, поскольку даже одна проба со сверхвысоким содержанием может существенно исказить среднее содержание в подсчетном блоке.

Твердо установленных правил о том, какие пробы считать ураганскими и как их учитывать, в настоящее время не существует. Согласно эмпирическому правилу И. Д. Когана ураганскими следует считать пробы, которые превышают среднее содержание в блоке более чем на 20 %. Их количество на месторождениях обычно не превышает 5 % общего числа проб. Известно около 30 способов учета ураганских проб. Однако ни один из них не является общепризнанным и свободным от недостатков.

На практике применяют эмпирические, аналитические и так называемые геологические методы учета ураганских проб. Ниже приводятся наиболее известные.

Эмпирические методы

- 1) среднее содержание в подсчетном блоке рассчитывается с полным исключением ураганских проб;
- 2) среднее содержание рассчитывается с заменой содержаний в ураганских пробах максимальным среди оставшихся проб;
- 3) среднее содержание рассчитывается с заменой содержаний в ураганских пробах средним, вычисленным без учета ураганских проб;
- 4) среднее содержание рассчитывается с заменой содержаний в ураганских пробах средним, вычисленным с учетом ураганских проб;
- 5) среднее содержание рассчитывается с заменой содержаний в ураганских пробах средним, вычисленным по двум соседним, не ураганским, пробам.

Аналитические методы

- 1) среднее содержание рассчитывается по всем пробам, включая ураганские, но ураганские значения включаются в выборку с учетом частот их встречаемости;
- 2) метод В. Ф. Мягова (рассмотрен ниже).

Геологические методы

Из геологических наиболее известен метод, рекомендованный ГКЗ. Он основан на положении о том, что при неравномерном распределении компонента ураганские пробы типичны для всего месторождения. Учет ураганских проб рекомендуется вести следующим образом. Вычисляются запасы: 1) с учетом ураганских проб; 2) с заменой содержаний в ураганских пробах наиболее

высокими содержаниями в рядовых пробах. Разность запасов учитывается отдельно и распределяется на запасы всего месторождения.

Учет ураганных проб методом В. Ф. Мягкова

Метод В. Ф. Мягкова применяется при наличии тесных корреляционных связей компонента, имеющего ураганные содержания, и компонента, не имеющего ураганные содержания. Суть метода заключается в последовательном расчете статистических характеристик (средних, среднеквадратических отклонений, коэффициентов корреляции по исходной совокупности и после исключения выдающихся значений с помощью контурного 95%-го эллипса). Далее рассчитывается уравнение ортогональной среднеквадратической регрессии, с помощью которого ураганные значения заменяются «истинными». Расчетные формулы приведены выше (см п. 7.5.3).

При обработке информации методом В. Ф. Мягкова могут быть выявлены не только ураганные пробы – пробы с аномально высокими содержаниями, но и пробы с аномально низкими содержаниями. Схема учета выдающихся проб приведена на рис. 9.9.

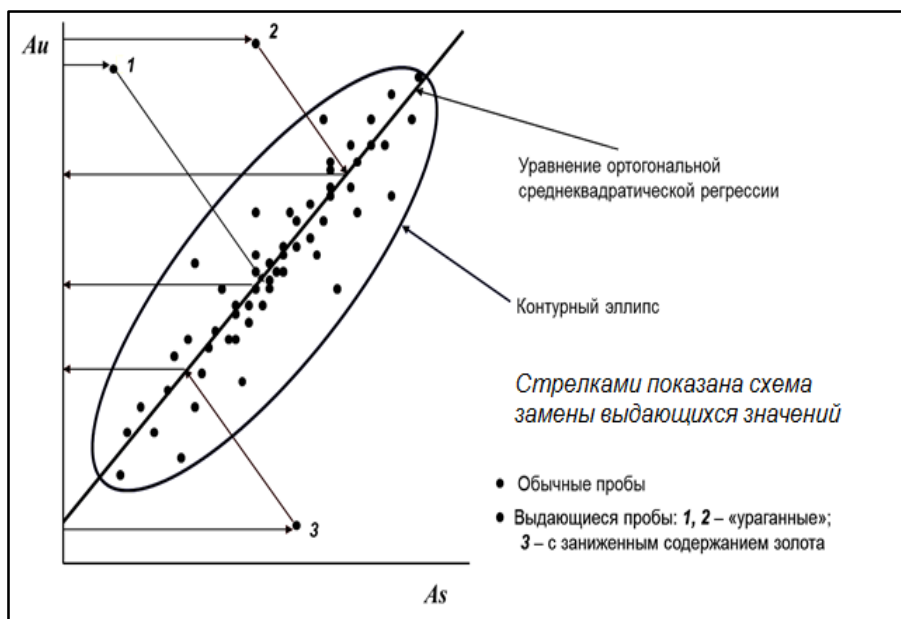


Рис. 9.9. Схема учета выдающихся проб по методу В. Ф. Мягкова

Обоснование категорий запасов в подсчетных блоках

Подсчетные блоки в залежах выделяются по нескольким признакам: по степени разведанности полезного ископаемого (по плотности реализованной разведочной сети), по особенностям геологического строения (по морфологии, мощности, элементам залегания), сложности внутреннего строения, минеральному составу полезного ископаемого, структурно-текстурным характеристикам, горно-техническим условиям отработки и т. д. Наиболее часто блоки разделяются по плотности разведочной сети и по типу разведочных пересечений тела полезного ископаемого – скважинами и/или горными выработками. Так, на рис. 9.10 показано, что блоки запасов категорий А и В разведаны горными выработками, блок запасов категории С₁ сверху ограничен горными выработками, снизу – скважинами, нижняя граница блока запасов категории С₂ проведена методом неограниченной экстраполяции. Подчеркнем, что реальные границы залежи для подсчета запасов заменяются прямыми линиями. На рис. 9.11 блоки выделены по плотности разведочной сети: для запасов категории В расстояния между разведочными линиями в 2–2,5 раза меньше, чем для запасов категории С₁.

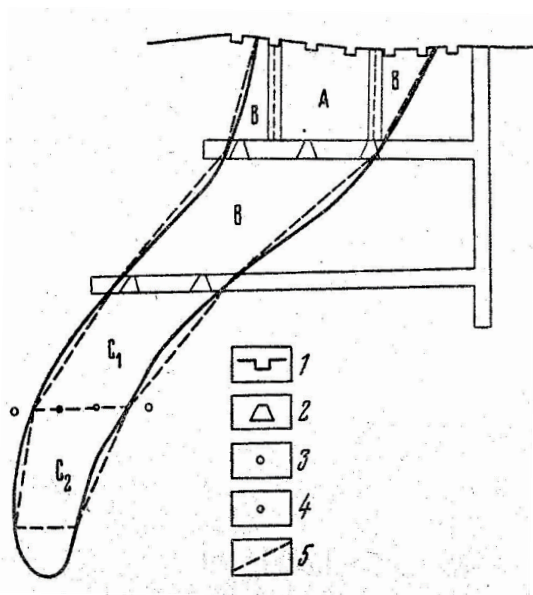


Рис. 9.10. Выделение блоков по степени разведанности на продольной вертикальной проекции жилы (по Е. О. Погребницкому, 1977): 1 – канавы, 2 – орты, 3 – скважины безрудные, 4 – скважины рудные, 5 – контур блоков

Обоснование категорий запасов в подсчетных блоках производится следующим образом. По особенностям строения тел полезного ископаемого (его размерам, морфологии, изменчивости мощности, содержаний компонентов,

характеру минерализации и др.), используя сведения, приведенные в Методических рекомендациях..., 2007, определяется группа сложности месторождения для целей разведки: первая, вторая, третья или четвертая. Изменчивость мощности и содержаний компонентов оценивается по результатам расчетов коэффициентов вариации. Коэффициенты вариации менее 40 % соответствуют первой группе, 40–100 % – второй, 100–150 % – третьей, более 150 % – четвертой. Далее категория запасов устанавливается путем сравнения реализованной разведочной сети, а именно: типов разведочных выработок и расстояний между ними, с указанной в Методических рекомендациях... (2007) плотностью сети разведки для выбранной группы месторождений рассматриваемого вида полезного ископаемого.

9.5. Методы подсчета запасов

9.5.1. Традиционные методы подсчета запасов

В литературе описано свыше 20 методов подсчета запасов. Однако в геологоразведочной практике в настоящее время применяются в основном следующие четыре метода: 1) метод геологических блоков; 2) метод эксплуатационных блоков; 3) метод сечений (разновидности – метод вертикальных сечений, или разрезов, и метод горизонтальных сечений); 4) метод многоугольников.

Все методы базируются на двух основных положениях: а) фактические данные о параметрах подсчета, полученные по разведочным выработкам, распространяются на окружающие части залежи; б) сложные по форме тела полезных ископаемых преобразовываются в равновеликие простые тела, объем которых определяется по известным геометрическим формулам.

Методы различаются способами выделения и определения объемов подсчетных блоков.

Расчеты подсчетных параметров и результаты подсчета запасов оформляются в виде специальных таблиц, называемых формулярами.

Метод геологических блоков

Метод является одним из наиболее распространенных. На выбранной проекции изображают разведочные выработки и оконтуренные по ним тела полезных ископаемых. В пределах тел по основным горно-геологическим параметрам, в первую очередь по степени разведанности, выделяют подсчетные блоки (рис. 9.11). Блоки нумеруют, нумерация включает порядковый номер блока и категорию запасов. Например, блок 1-В, блок 2-С₁ и т. д.

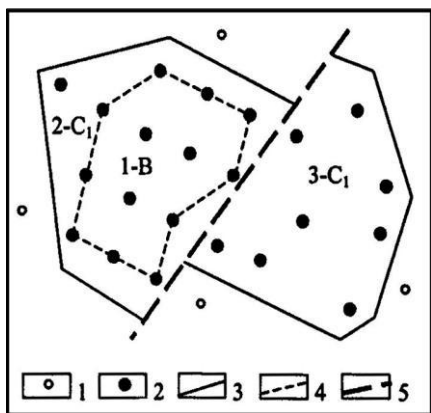


Рис. 9.11. Проекция рудного тела на горизонтальную плоскость (по Г. С. Порозову, 2004):

- 1 – безрудные скважины;
- 2 – рудные скважины;
- 3 – контур запасов категории C_1 ;
- 4 – контур запасов категории В;
- 5 – разрывное нарушение

Для определения объема блоков их истинная сложная форма преобразуется в ряд сомкнутых тел, площадь основания которых равна площади блока, а высота – средней мощности (рис. 9.12).

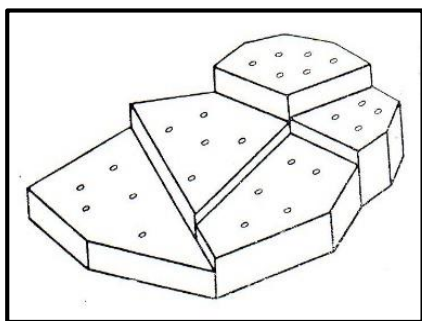


Рис. 9.12. Преобразование сплошного рудного тела в сомкнутые блоки (по В. И. Смирнову, 1960)

В каждом подсчетном блоке запасы считаются отдельно. Вначале измеряется площадь блока S на проекции. Далее вычисляется средняя мощность $m_{ср}$, перпендикулярная проекции, а именно: для вертикальной проекции – горизонтальная мощность, для горизонтальной проекции – вертикальная, для усредненной плоскости – истинная мощность.

По этим данным определяется объем блока: $V = S \cdot m_{ср}$. Умножение объема на объемную массу (d) позволяет определить запасы полезного ископаемого: $Q = V \cdot d$. Произведение запасов полезного ископаемого и средневзвешенного содержания ($C_{ср}$) – есть запасы полезного компонента: 1) $P = Q \cdot C_{ср} / 100$ (если содержания в масс. %); 2) $P = Q \cdot C_{ср}$ (когда содержания в $мг/т$, $кар/т$, $г/т$ или $кг/т$); 3) $P = V \cdot C_{ср}$ (если содержания в $мг/м^3$, $кар/м^3$, $г/м^3$ или $кг/м^3$). Пример формуляра подсчета запасов методом геологических блоков приведен ниже (табл. 9.1).

Таблица 9.1

Формуляр подсчета запасов методом геологических блоков

Номер блока	Площадь блока S , м ²	Средняя мощность m_{cp} , м	Объем блока V , м ³	Объемная масса руды d , т/м ³	Запасы руды Q , т	Среднее содержание меди C_{cp} , масс. %	Запасы меди P , т
1-В	7905	5,55	43872,75	3,5	153554,62	5,17	7938,8
2-С1	26400	5,02	132528,00	3,5	463848,00	5,00	23192,4
3-С2	24350	3,59	87416,50	3,5	305957,75	4,57	13982,3
Сумма	58655	14,16	263817,25	—	923360,37	14,74	45113,5
Среднее	—	4,72	—	—	—	4,89	—

Метод эксплуатационных блоков

Метод является частным случаем метода геологических блоков. Применяется при подсчете запасов жильных или маломощных пластовых залежей. Подсчетными блоками являются эксплуатационные блоки, оконтуренные горными выработками с трех или четырех сторон (рис. 9.13). В зависимости от угла падения графические построения производятся на продольной вертикальной проекции или на горизонтальной проекции (плане).

Особенности применения метода заключаются в следующем:

- границами подсчетного блока являются оконтуривающие его выработки;
- при расчетах средних содержаний компонентов учитываются все пробы, отобранные в пределах блока, включая пробы с содержаниями ниже бортового. При этом если среднее содержание полезного компонента в блоке (с учетом этих проб) окажется ниже минимально промышленного, его запасы относятся к забалансовым и блок не отрабатывается по причине экономической нецелесообразности.

Если блоки изображены на продольной вертикальной проекции, то их объем определяется как произведение площади (S) на среднюю горизонтальную мощность (m_z): $V = S \cdot m_z$. Когда блоки выделены на горизонтальной проекции (плане), объем равен произведению площади на среднюю вертикальную мощность (m_v): $V = S \cdot m_v$.

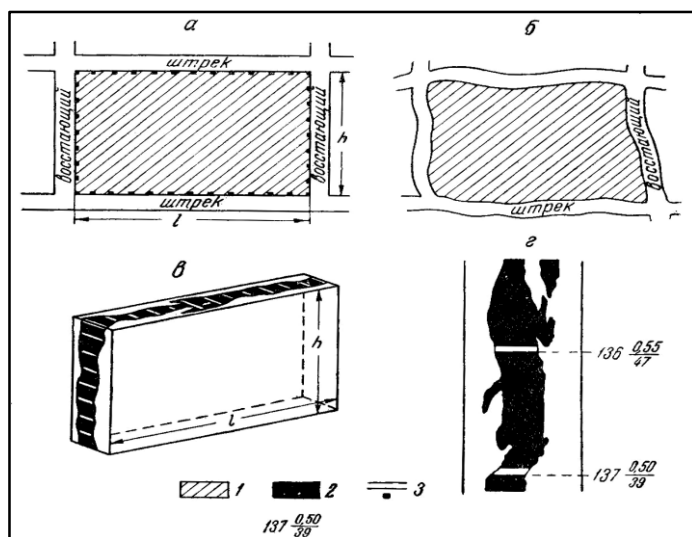


Рис. 9.13. Эксплуатационный блок, оконтуренный выработками с четырех сторон (по В. И. Смирнову и др., 1960): а – проекция блока в плоскости жилы; б – проекция блока с неправильными контурами; в – схематическое изображение блока; г – часть плана опробования одной из сторон блока; 1 – площадь подсчетного блока; 2 – тело полезного ископаемого; 3 – место отбора бороздовых проб; 4 – номер пробы, далее в числителе – мощность тела полезного ископаемого, м; в знаменателе – содержание компонента, г/т

Метод геологических сечений

Метод сечений является вторым, после метода геологических блоков, по распространенности. Его применяют при подсчете запасов сравнительно мощных залежей сложной формы, имеющих неоднородное внутреннее строение.

Необходимым условием применения метода является специфическая система разведочных горных выработок и скважин, обеспечивающая возможность построения по ним или вертикальных сечений (разрезов), или горизонтальных сечений (погоризонтных планов). В первом случае метод называется *методом вертикальных сечений (разрезов)*; во втором – *методом горизонтальных сечений*. Геометризация тел полезных ископаемых, включая их оконтуривание в соответствии с принятыми кондициями, производится на вертикальных разрезах или планах.

Сущность метода заключается в том, что для подсчета запасов залежей полезного ископаемого разделяется на отдельные подсчетные блоки, границами которых являются плоские сечения: геологические разрезы или погоризонтные планы. От других описываемый метод отличается способом определения объемов подсчетных блоков. Если в других методах объем блоков определяется в основном по площади залежи и ее мощности, то в методе сечений

объем вычисляется по площадям сечений (вертикальным или горизонтальным) и расстояниям между ними. По конфигурации различают два вида подсчетных блоков: 1) блоки, ограниченные двумя сечениями (рис. 9.14, блоки *A* и *B*); 2) блоки, опирающиеся лишь на одно сечение, что обычно имеет место на флангах залежей при их выклинивании (рис. 9.14, блоки *C* и *D*).

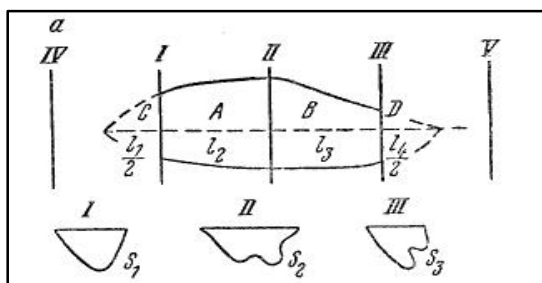


Рис. 9.14. Схема подсчета запасов методом параллельных сечений (по Е. О. Погребницкому и др. 1977): *I-V* – разведочные линии; *A-D* – подсчетные блоки; $l_1 - l_3$ – длина блоков; $S_1 - S_3$ – площади блоков

Вычисления объемов блоков (*V*) выполняется по следующим формулам:

1) объем блоков, опирающихся на два параллельных сечения, если площади залежи (S_1 и S_2) на них отличаются не более чем на 40 %, вычисляется по формуле усеченного клина

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} L,$$

где L – расстояние между разрезами;

2) объем блоков, опирающихся на два параллельных сечения, если площади залежи на них отличаются более чем на 40 %, вычисляется по формуле усеченной пирамиды

$$V = \frac{S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}}{3} L;$$

3) если блок ограничен лишь с одной стороны, то расчет его объема зависит от принятой гипотезы выклинивания рудного тела:

а) когда рудное тело за сечением не выклинивается, а ограничено разрывным нарушением или интрузивным контактом, то объем определяется по формуле призмы

$$V = S \cdot L,$$

где L – расстояние от сечения до плоскости, ограничивающей распространение оруденения;

б) когда рудное тело выклинивается в линию, то применяется формула клина

$$V = \frac{S \cdot L}{2};$$

в) когда рудное тело выклинивается в точку, используется формула конуса

$$V = \frac{S \cdot L}{3};$$

4) объем блоков, опирающихся на два непараллельных сечения (рис. 9.15), целесообразно вычислять по методике, предложенной Ю. А. Колмогоровым (1959).

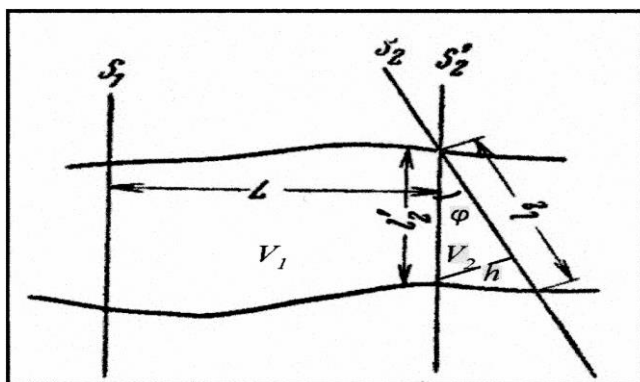


Рис. 9.15. Схема подсчета запасов в блоках, опирающихся на непараллельные сечения (по Ю.А. Колмогорову, 1959): условные обозначения и пояснения в тексте

Блок между двумя непараллельными сечениями разбивается на два под-блока V_1 и V_2 . Объем подблока V_1 определяется по формуле

$$V_1 = \frac{S_1 + S_2'}{2} L,$$

где $S_2' = S_2 \cos \varphi$. Объем блока V_2 вычисляется по формуле

$$V_2 = \frac{1}{2} S_2 h,$$

где h – перпендикуляр, опущенный из крайней точки сечения S_2' на линию сечения S_2 .

Пример формуляра подсчета запасов методом сечений приведен в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Формуляр подсчета запасов методом сечений

Номер блока	Площадь, тыс. м ²		Расстояние между линиями L, м	Геометрическая фигура	Объем блока, тыс. м ³	Объемная масса, т/м ³	Запасы руды, млн т	Содержание меди, масс. доля, %	Запасы меди, тыс. т
	S ₁	S ₂							
1 – В	15,9	31,2	50	пирамида	1156,2	3,2	3,70	1,44	53,3
2 – С ₁	31,4	34,3	100	призма	3285,2	3,6	11,83	2,12	250,8
3 – С ₁	34,3	–	60	клин	2058,0	3,6	7,41	1,75	130,4
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Итого:									
В	–	–	–	–	–	–	3,70	1,44	53,3
С ₁	–	–	–	–	–	–	26,10	1,86	485,5
С ₂	–	–	–	–	–	–	5,33	1,19	63,4
Всего:									
В+С ₁	–	–	–	–	–	–	22,94	1,71	434,5
С ₂	–	–	–	–	–	–	5,33	1,19	63,4

Метод многоугольников

Данный метод применяется при подсчете запасов пологих залежей, разведанных вертикальными скважинами или горными выработками. Имеются синонимы наименования метода: метод А. К. Болдырева, метод ближайшего района. Подсчет ведется в пределах внешнего контура залежи (внутренний контур играет вспомогательную роль).

Для построения границ подсчетных блоков на плане ближайшие выработки соединяются прямыми линиями. В результате получается сеть треугольников. Через середины их сторон строятся перпендикуляры до пересечения с соседними перпендикулярами. В результате получается серия многоугольников, которые в пространстве представляют собой сомкнутые многогранные призмы, являющиеся подсчетными блоками (рис. 9.16). В центре каждой призмы располагается разведочная выработка, параметры которой распространяются на весь подсчетный блок (ближайший район).

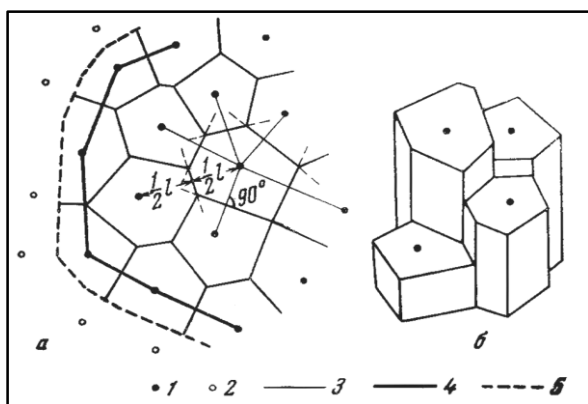


Рис. 9.16. Подсчет запасов методом многоугольников

(по В. М. Крейтеру, 1969):

a – фрагмент подсчетного плана с указанием способа построения многоугольников:
1 – кондиционные выработки; 2 – некондиционные выработки; 3 – контуры подсчетных блоков; 4 – внутренний контур; 5 – внешний контур; *б* – разбивка рудного тела на сомкнутые призмы в аксонометрические проекции

Высотой каждой призмы является мощность рудного тела, а основанием – построенный многоугольник. Значения содержаний компонентов и объемная масса принимаются по данным опробования центральной выработки. Результаты подсчета запасов по отдельным блокам суммируются с учетом категорий запасов.

Метод треугольников

Метод треугольников, как и метод многоугольников, применяется при подсчете запасов пологих залежей, разведанных вертикальными скважинами или горными выработками. Для подсчета запасов залежь преобразуется в серию сомкнутых трехгранных призм.

Вынесенные на план разведочные выработки в пределах внутреннего контура соединяются прямыми – получается сеть треугольников (рис. 9.17). В межконтурной полосе (между внутренним и внешним контурами) треугольники строятся следующим образом. Из середин отрезков, соединяющих выработки на внутреннем контуре, восстанавливаются перпендикуляры до пересечения с внешним контуром. Полученные точки соединяют с выработками на внутреннем контуре, что приводит к образованию сети треугольников в межконтурном пространстве. Каждый треугольник (трехгранная призма) представляет собой подсчетный блок.

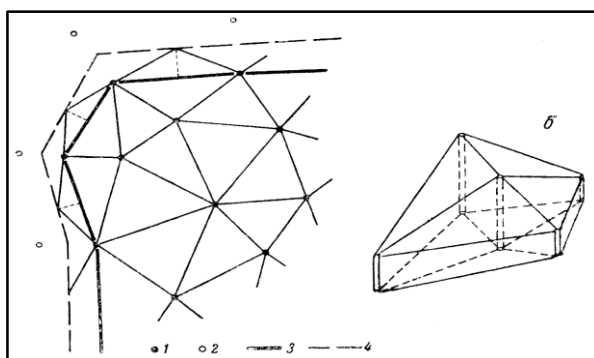


Рис. 9.17. Подсчет запасов методом треугольников (по В. И. Смирнову, 1960):
а – фрагмент подсчетного плана; б – перспективное изображение фрагмента тела полезного ископаемого, трансформированного в сомкнутую группу косоусеченных трехгранных призм. 1 – кондиционные выработки; 2 – некондиционные выработки; 3 – внутренний контур; 4 – внешний контур

Для блоков определяются площади, средняя мощность, средневзвешенные содержания, объемная масса. По этим данным ведется подсчет запасов в каждом блоке. Результаты подсчета запасов суммируются с учетом категорий запасов. Заметим, что запасы в блоках межконтурной полосы квалифицируются как минимум на категорию ниже по сравнению с запасами, находящимися внутри внутреннего контура.

9.5.2. Подсчет запасов с использованием блочного моделирования и геостатистических методов

(по материалам «Рекомендаций...», 2015)

В настоящее время компьютерные технологии широко применяются в практике геологоразведочных работ. Программные средства информационных технологий представлены модулями, предназначенными для объемного моделирования месторождений (рудных тел, зон минерализации) и их структуры, маркшейдерских расчетов и построений, статистического и геостатистического анализов, подсчета запасов, моделирования гидрогеологических характеристик и экологических ситуаций, решения задач оптимизации проектов горных работ и планирования их реализации и др.

Информационные технологии, используемые при подсчете запасов, являются техническим средством, позволяющим автоматизировать рутинные вычислительные операции и, кроме того, разрабатывать и применять новые методы подсчета запасов. Наряду с традиционными методами подсчета запасов применяются (пока еще в ограниченных масштабах) методы, основанные на блочном и геостатистическом моделировании.

Сравнительная характеристика подсчета запасов традиционными методами и методом блочного моделирования с использованием геостатистики

Традиционные методы подсчета запасов. К ним относятся методы геологических и эксплуатационных блоков, сечений (вертикальных и горизонтальных), многоугольников, треугольников и т. п. В зарубежной практике эти методы принято называть «полигональными». Заметим также, что этим термином за рубежом называют все методы, применяемые в российской практике. Это обусловлено как непониманием отличий, применяемых в России методов, так и нежеланием изучить особенности российской системы оценки запасов.

Традиционным российским методам присущи определенные недостатки. Так, при применении метода геологических, и особенно эксплуатационных блоков, не учитывается неравномерность разведочной сети; при построении границ подсчетных блоков не учитываются зоны влияния краевых пересечений; в итоге погрешности оценки запасов остаются неопределенными. Аналогичные недостатки присущи и методу сечений. Тем не менее указанные методы не могут быть отнесены к полигональным, поскольку не учитывают неравномерность разведочной сети. Смысл применения собственно полигональных методов заключается в построении области влияния единичного

разведочного пересечения – полигона и в оценке запасов в блоке, опирающемся на это пересечение. Этому требованию, например, отвечает метод многоугольников.

Достоинства полигональных методов:

- возможность оценки запасов любых геолого-промышленных типов месторождений и максимально полный учет геологических особенностей строения месторождений;

- доказанные многолетней практикой корректность и надежность применения подсчета запасов как в России, так и за рубежом (до эпохи компьютеризации);

- возможность получения объективной оценки запасов на всех стадиях изучения месторождения;

- возможность разделения запасов по категориям разведанности и балансовой принадлежности в соответствии со сложившейся в России практикой оценки месторождений;

- вопросы применения подсчета запасов разными методами детально регламентированы в инструкциях и методических указаниях, что обеспечивает воспроизводимость результатов подсчета при соблюдении нормативных требований.

К недостаткам традиционных методов подсчета запасов относятся:

- ограниченные возможности применения информационных технологий при проектировании открытых и подземных горных работ;

- невозможность оперативной переоценки запасов в соответствии с меняющимися условиями (экономической конъюнктурой, технологией);

- невозможность экспрессного пересчета запасов для планирования добычи на локальных участках и для составления текущих календарных графиков отработки месторождения;

- несоответствие современным требованиям и технологиям контроля отработки месторождений и управления качеством руд в процессе эксплуатации;

- несоответствие требованиям зарубежных инвесторов и международного аудита к форме отчетности о ресурсах и запасах.

Блочное моделирование основано на разделении пространства месторождения на элементарные блоки (ячейки). Этим блокам присваиваются значения свойств объекта, которые получены путем интерполяции данных опробования с учетом весовых коэффициентов, рассчитываемых как величины обратные квадратам расстояний между разведочными пересечениями. Одной из разновидностей блочного моделирования является геостатистическое, базирующееся на математическом аппарате теории случайных функций. Этот вид

моделирования и подсчета запасов получил достаточно широкое распространение за рубежом и в меньшей степени в нашей стране.

Достоинства методов блочного моделирования:

- автоматизированы операции оценки запасов и создания отчетных табличных и графических материалов;
- упрощена оперативная переоценка запасов;
- обеспечена автоматизация процессов планирования и управления добычей полезных ископаемых.

Недостатки методов блочного моделирования:

- отсутствие четких критериев оценки качества моделирования и возможность появления систематических погрешностей при оценке запасов;
- ограниченные возможности получения надежной оценки количества запасов на месторождениях, разведанных по редкой разведочной сети и имеющих прерывистый характер оруденения;
- ограниченные технические возможности персональных компьютеров и программных продуктов при оценке запасов крупных объектов, обладающих сложным геологическим строением.

Сравнительная характеристика методов. При сравнении результатов оценки запасов традиционными методами, применяемыми в РФ, и методами блочного моделирования следует учитывать ряд особенностей.

Принципы подсчета и учета запасов. В РФ законодательно определен подсчет запасов без учета потерь и разубоживания, предусмотрено разделение запасов по балансовой принадлежности: балансовые и забалансовые. За рубежом оцениваются преимущественно извлекаемые запасы, при подсчете которых учитываются потери и разубоживание. В отечественной практике подсчет запасов детально регламентирован инструкциями и методическими рекомендациями. Зарубежная практика опирается на опыт компетентных лиц и требования стандартов отчетности о ресурсах/запасах (JORC, NI 43-101, рамочная классификация ООН и т. д.), которые существенно отличаются друг от друга. Выделение забалансовых запасов, за исключением рамочной классификации ООН, в зарубежных стандартах не предусмотрено.

Условия подсчета запасов и использование кондиций. Традиционный подсчет запасов базируется на использовании кондиций, которые представляют собой перечень требований, утверждаемых ГКЗ на достаточно длительный период. Основные параметры кондиций определяются на основе повариантных расчетов. Кондиции – это инструмент, регулирующий взаимоотношения недровладельца (государство) и недропользователя.

За рубежом обычно обосновываются предельные содержания компонентов в элементарном блоке, размеры которого могут выбираться достаточно

произвольно. Предельное содержание [cut-off grade – англ.] может пересматриваться в зависимости от сложившейся экономической конъюнктуры. Государственному регулированию оно не подлежит.

Взаимная адаптация требований кондиций при разных подходах практически невозможна, что существенно осложняет сравнение результатов подсчета запасов. Практика подсчета запасов с использованием блочных моделей показывает, что предельное содержание в элементарном блоке чаще всего не соответствует бортовому значению в пробе при традиционном подсчете запасов.

Геостатистическая и детерминистическая разновидности блочного моделирования

Авторы «Рекомендаций...», 2015» наряду с геостатистической разновидностью блочного моделирования предлагают выделять так называемую детерминистическую, основанную на наличии заданной аналитической зависимости между значениями геологических параметров в пространстве, выраженной формулой. Наиболее часто используются линейные интерполяторы, такие как метод обратных расстояний. Не следует смешивать понятия «блочная модель» и «геостатистическая модель». Термин «*блочная*» указывает на форму объекта: модель представлена в виде «кубиков». Термин «*геостатистическая модель*» означает, что для анализа пространственного распределения параметров рассчитывались и строились *вариограммы*, а для интерполяции применялся *кригинг*.

Метод кригинга был так назван известным французским исследователем, одним из «отцов» геостатистики Ж. Матероном по фамилии южноафриканского геолога D. G. Krige, который применял его для определения запасов золота в россыпях.

Геостатистические модели основаны на применении математической теории анализа свойств пространственных геологических переменных (содержаний полезных компонентов в разведочных пробах и других свойств месторождений). Пространственная изменчивость переменной характеризуется функцией – вариограммой, представляющей собой зависимость квадратов разности значений переменной в пробах (разведочных пересечениях) от расстояния между ними. В моделях месторождений используются аппроксимации экспериментальных вариограмм, характеризующие пространственную корреляцию переменных. В свойствах вариограмм важными являются: радиус влияния пространственной переменной – расстояние, на котором корреляция обращается в нуль (вариограмма выходит на горизонтальную линию на уровне,

равном статистической дисперсии переменной; этот уровень называют порогом – sillом вариограммы); анизотропия пространственной изменчивости переменной – в этом случае радиус влияния характеризуется разными величинами по ортогональным направлениям; эффект самородков – значение вариограммы при нулевом значении аргумента (предельно малом расстоянии между пробами/пересечениями).

Геостатистическое моделирование месторождений твердых полезных ископаемых осуществляется посредством последовательного выполнения следующих стандартных операций:

- подготовка баз данных,
- геологическое моделирование,
- построение геометрической модели,
- статистический анализ,
- геостатистический анализ,
- собственно геостатистическое моделирование,
- построение геометрической модели месторождения,
- обоснование размеров подсчетных блоков (ячеек),
- подсчет запасов методом геостатистического моделирования,
- сопоставление результатов подсчета запасов геостатистическим и традиционными методами,
- сопоставление результатов подсчета запасов с данными эксплуатационной разведки.

Модель, лежащая в основе геостатистического метода, не вполне соответствует сущности изучаемых объектов – месторождений и принимается далеко не всеми геологами. Модель применима только для геостатистически однородных объектов. Возможность применения геостатистического моделирования, базирующегося на теории случайных функций, ограничена требованием стационарности и эргодичности функций, описывающих распределение геологических пространственных переменных. Конкретизируем отмеченные недостатки, предварительно введя вышеуказанные базовые понятия.

Случайная функция – это функция, которая в результате опыта может принять тот или иной конкретный вид, заранее неизвестный, какой именно. Конкретный вид, принимаемый случайной функцией в результате опыта, называется реализацией случайной функции. Если аргументом случайной функции является координата времени, функция называется *случайным процессом*. Если аргументом являются пространственные координаты – *случайное поле*.

Случайная функция называется *стационарной*, если ее математическое

ожидание, дисперсия и автокорреляционная функция не изменяются при изменении аргумента. Стационарные функции, характеристики которых получены по одной реализации и являются представительными как для всех реализаций, так и для всей функции в целом, называются *эргодичными*. Заметим, что свойство эргодичности случайной функции может проявляться лишь при условии ее стационарности.

Проанализируем, на сколько соответствуют указанные требования сущности изучаемых объектов:

1. Пространственное изменение геологических параметров не может быть признано случайным, поскольку для каждой точки геологического пространства значения параметров являются пространственно детерминированными. Более того, осуществить бесконечное множество (даже теоретически) определений значений параметров для получения ансамбля реализаций в большинстве случаев не представляется возможным как по экономическим причинам, так и практически. Дважды отобрать одну и ту же пробу, пройти одну и ту же скважину, горную выработку также невозможно, что обусловлено неповторностью операций отбора проб и проходки разведочных выработок.

2. Условию стационарности, а тем более эргодичности, изменения пространственных геологических переменных соответствовать не могут, так как это условие предполагает однородность залежей полезных ископаемых. Реально же изменения геологических параметров содержат явно выраженные линейные тренды в виде увеличения или уменьшения их значений по простиранию, падению залежей или от всячего (лежащего) бока к лежащему (висячему). Часто в пределах одной и той же залежи наблюдаются участки, представленные разными типами руд или имеющие наложенное оруденение. Такие участки обычно отличаются по значениям дисперсии. Более того, для пространственного изменения геологических параметров характерно многоуровневое строение (Л. И. Четвериков, 1968; А. Б. Каждан, 1984). Уровни отличаются частотными характеристиками. Корреляционные (автокорреляционные) функции подобных реализаций имеют периодический вид, который не позволяет установить радиус автокорреляции, а вариограммы вообще не стабилизируются. В результате исключается возможность определить расстояние, на которое должно распространяться влияние замера параметра.

Проверка геостатистической однородности месторождений в применяемых информационных технологиях обычно не предусмотрена. Их несоблюдение обуславливает систематические ошибки, как правило, занижение содержаний компонентов при оценке запасов. Теоретически преимущество геостатистического подсчета запасов должно выражаться в повышении точности

оценки параметров. Однако в случаях, когда радиус корреляции (автокорреляции) существенно меньше расстояния между разведочными пересечениями, это преимущество не проявляется; применение блочного моделирования становится не эффективным.

Результаты и качество блочного моделирования определяются многими факторами: видом выбираемой геостатистической модели (модели вариограммы), условиями определения границ месторождения (его каркаса), размерами ячеек (блоков) модели, размерами и ориентировкой поискового эллипсоида, количеством проб, учитываемых при интерполяции исходных данных в ячейках модели и т. д. Большое количество факторов, влияющих на качество моделирования, порождает неоднозначность решаемой задачи. Результаты оценки запасов по вариантам моделей могут различаться до 1,5–2 раз (иногда более). В РФ *контроль результатов блочного моделирования рекомендуется проводить с помощью традиционных методов подсчета запасов (Рекомендации..., 2015).*

Считается, что блочное моделирование наиболее эффективно на стадии эксплуатационной разведки, когда создается наиболее плотная сеть разведочных выработок, а также при планировании очистных работ и определении количества извлекаемых запасов. Обратим внимание на то, что при оценке извлекаемых запасов учитываются данные опробования не только оцениваемых объемов, но и окружающего пространства. При этом определяется также возможность селективной отработки «выемочных единиц» и параметров подсчета запасов по ним с учетом сложности контура рудного тела. Особенностью метода блочного геостатистического моделирования является то, что *оценка извлекаемых запасов, а также величин потерь и разубоживания требуют учета данных опробования в окружающем рудное тело пространстве.* Эта особенность метода, по мнению многих геологов, не вполне корректна.

Детерминистическая модель. Как отмечено выше, детерминистическая модель основана на наличии заданной аналитической зависимости между значениями геологических параметров в пространстве, выраженной формулой. Этой модели наиболее полно соответствует используемое в геологии понятие «геологическое поле» (геофизическое поле, геохимическое поле и т. п.), основы которого разработаны в трудах П. К. Соболевского (1932), Л. И. Четверикова (1980), А. Б. Каждана (1984), В. Ф. Мягкова (1984). Геологическое поле – геологическое пространство, каждой точке которого присуще определенное значение параметра. Геологические поля характеризуются уровненным строением и осложнены случайными составляющими. Уровни строения отличаются частотными характеристиками и осложнены случайными составляющими. Никакой случайности (*от Бога!*) в значении параметра в конкретной точке геоло-

гического пространства в фиксированный момент времени нет. Она может появиться лишь при его определении путем измерения (погрешности измерения) или при обобщении результатов измерений (при переходе от одного уровня к другому – погрешность аппроксимации). При этом относительно изучаемого уровня более высокочастотные уровни выступают как случайные.

Модель геологического поля, характеризующегося уровнем строением, отвечает действующей в РФ классификации запасов, предусматривающей их разделение на категории. Категории запасов отличаются плотностью разведочной сети, т. е. ориентированы на выявление разночастотных элементов неоднородности. Сгущение разведочной сети при переходе от низких категорий разведанности к более высоким фактически означает выявление вначале низкочастотных уровней геологических полей, а затем последовательно высокочастотных.

Таким образом геостатистическая модель, основанная на теории случайных функций, явно противоречит принятой в отечественной геологии детерминистической модели, на которой базируется вся практика и действующая нормативная база геологоразведочных работ.

9.6. Классификация запасов твердых полевых ископаемых

Первая в истории горного дела классификация запасов полезных ископаемых была разработана в начале XIX в. Лондонским институтом горного дела и металлургии. Она включала в себя три категории запасов:

- доказанные (действительные),
- вероятные (частично вскрытые горными выработками),
- возможные (на основе теоретических выкладок).

Эта классификация была принята и в России.

В 1928 г. была предложена, а в 1932 г. утверждена классификация, разработанная Геолкомом. Она включала в себя пять категорий: A_1 , A_2 , В, C_1 , C_2 . Эта классификация уточнялась в 1941 и 1953 гг., но количество категорий и их наименования оставались неизменными. В 1960 г. была принята новая классификация, в которой запасы по степени достоверности были разделены на четыре категории: А, В, C_1 , C_2 , а по степени пригодности для промышленного использования – на две группы: балансовые и забалансовые. В 1981 году Совет Министров СССР утвердил классификацию запасов, разработанную ГКЗ СССР. В ней запасы по степени изученности подразделялись на разведанные категории А, В, C_1 и предварительно оцененные – категории C_2 .

Прогнозные ресурсы по степени обоснованности подразделялись на категории P_1 , P_2 , и P_3 .

На сегодняшний день действует «Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых», утвержденная Минприроды РФ в 1997 г. Классификация включает в себя следующие группировки:

- 1) группировка месторождений (участков месторождений) по сложности геологического строения,
- 2) группировка месторождений по степени их изученности,
- 3) категоризация запасов и прогнозных ресурсов полезных ископаемых по степени изученности (достоверности),
- 4) группировка полезных ископаемых по их экономическому значению.

9.6.1. Группы месторождений по сложности геологического строения

Необходимая и достаточная степень разведанности запасов твердых полезных ископаемых определяется в зависимости от сложности геологического строения месторождений. По данному признаку месторождения подразделяются на четыре группы:

1. Месторождения (участки) простого геологического строения с крупными и весьма крупными, реже средними по размерам телами полезных ископаемых с ненарушенным или слабонарушенным залеганием, характеризующимися устойчивыми мощностью и внутренним строением, выдержанным качеством полезного ископаемого, равномерным распределением основных ценных компонентов. Особенности строения месторождений (участков) определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий А, В, C_1 и C_2 .

2. Месторождения (участки) сложного геологического строения с крупными и средними по размерам телами с нарушенным залеганием, характеризующимися неустойчивыми мощностью и внутренним строением либо невыдержанным качеством полезного ископаемого и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Ко второй группе относятся также месторождения углей, ископаемых солей и других полезных ископаемых простого геологического строения, но со сложными или очень сложными горно-геологическими условиями разработки. Особенности строения месторождений (участков) определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий В, C_1 и C_2 .

3. Месторождения (участки) очень сложного геологического строения со средними и мелкими по размерам телами полезных ископаемых с интенсивно нарушенным залеганием, характеризующимися очень изменчивыми мощностью и внутренним строением либо значительно невыдержанным качеством полезного ископаемого и очень неравномерным распределением основных ценных компонентов. Запасы месторождений этой группы разведываются преимущественно по категориям C_1 и C_2 .

4. Месторождения (участки) с мелкими, реже средними по размерам телами с чрезвычайно нарушенным залеганием либо характеризующиеся резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения, крайне неравномерным качеством полезного ископаемого и прерывистым гнездовым распределением основных ценных компонентов. Запасы месторождений этой группы разведываются преимущественно по категории C_2 . При отнесении месторождений к той или иной группе могут использоваться количественные показатели оценки изменчивости основных свойств оруденения, характерные для каждого конкретного вида полезного ископаемого.

9.6.2. Группы месторождений по степени изученности

Месторождения полезных ископаемых по степени изученности подразделяются на *разведанные и оцененные*.

К разведанным относятся месторождения, запасы которых (их качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки) изучены по скважинам и горным выработкам с полнотой, достаточной для технико-экономического обоснования решения о порядке и условиях их вовлечения в промышленное освоение, а также о проектировании строительства или реконструкции на их базе горнодобывающего предприятия.

Разведанные месторождения по степени изученности должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивается возможность квалификации запасов по категориям, соответствующим группе сложности геологического строения месторождения;

- вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования рациональной технологии их переработки с комплексным извлечением полезных компонентов, имеющих промышленное значение, и определения направления использования отходов производства или оптимального варианта их складирования или захоронения;

– запасы других совместно залегающих полезных ископаемых, включая породы вскрыши и подземные воды, с содержащимися в них компонентами, отнесенные на основании кондиций к балансовым, изучены и оценены в степени, достаточной для определения их количества и возможных направлений использования;

– гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения с учетом требований природоохранительного законодательства и безопасности горных работ;

– достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого, качестве и количестве запасов подтверждены на представительных для всего месторождения участках детализации, размер и положение которых определяются недропользователями в каждом конкретном случае в зависимости от геологических особенностей полезного ископаемого;

– подсчетные параметры кондиций установлены на основании технико-экономических расчетов, позволяющих определить масштабы и промышленную значимость месторождения с необходимой степенью достоверности;

– оценено влияние разработки месторождения на окружающую среду и даны рекомендации по предотвращению или снижению прогнозируемого уровня отрицательных экологических последствий.

К оцененным относятся месторождения, запасы которых (их качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки) изучены в степени, позволяющей обосновать целесообразность дальнейшей разведки и разработки.

Оцененные месторождения по степени изученности должны удовлетворять следующим требованиям:

– обеспечивается возможность квалификации всех или большей части запасов по категории С₂;

– вещественный состав и технологические свойства полезного ископаемого оценены с полнотой, необходимой для выбора принципиальной технологической схемы переработки, обеспечивающей рациональное и комплексное использование полезного ископаемого;

– гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с полнотой, позволяющей предварительно охарактеризовать их основные показатели;

– достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого подтверждена на участках детализации;

– подсчетные параметры кондиций установлены на основании укрупненных технико-экономических расчетов или приняты по аналогии с месторождениями, находящимися в сходных географических и горно-геологических условиях;

– оценено влияние отработки месторождения на окружающую среду.

Рациональное соотношение запасов различных категорий в разведанных и оцененных месторождениях определяется недропользователем исходя из конкретных геологических особенностей месторождения, условий финансирования и строительства горнодобывающего предприятия.

9.6.3. Категории запасов твердых полезных ископаемых

Запасы твердых полезных ископаемых по степени разведанности подразделяются на категории А, В, С₁ и С₂.

Запасы категории А выделяются на участках детализации разведываемых месторождений 1-й группы сложности и должны удовлетворять следующим основным требованиям:

– установлены размеры, форма и условия залегания тел полезного ископаемого, изучены характер и закономерности изменчивости их морфологии и внутреннего строения, выделены и оконтурены безрудные и некондиционные участки внутри залежей полезного ископаемого; при наличии разрывных нарушений определены их положение и амплитуда смещения;

– определены природные разновидности, выделены и оконтурены промышленные (технологические) типы и сорта полезного ископаемого, установлены их состав и свойства; качество выделенных промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого охарактеризовано по всем предусмотренным промышленностью параметрам;

– изучены распределение и формы нахождения в минералах и продуктах переделов полезного ископаемого ценных и вредных компонентов;

– контуры запасов полезного ископаемого определены в соответствии с требованиями кондиций по скважинам и горным выработкам и результатам их детального опробования.

Запасы категории В выделяются на участках детализации разведываемых месторождений 1-й и 2-й групп и должны удовлетворять следующим требованиям:

– установлены размеры, основные особенности и изменчивость формы и внутреннего строения, условия залегания тел полезного ископаемого, пространственное размещение внутренних безрудных и некондиционных участков; при наличии крупных разрывных нарушений определены их положение и амплитуды смещения, оценена возможная степень развития малоамплитудных нарушений;

– определены природные разновидности, выделены и, если возможно, оконтурены промышленные (технологические) типы полезного ископаемого; при невозможности оконтуривания установлены закономерности пространственного распределения и количественного соотношения промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого; качество выделенных промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого охарактеризовано по всем предусмотренным кондициями параметрам;

– определены минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов;

– контуры запасов полезного ископаемого установлены в соответствии с требованиями кондиций по результатам документации и опробования скважин и горных выработок с включением зоны ограниченной экстраполяции, обоснованной геологическими критериями, данными геофизических и геохимических исследований.

Запасы категории C_1 составляют основную часть запасов разведываемых месторождений 1-й, 2-й и 3-й групп, а также участков детализации месторождений 4-й группы сложности. Они должны удовлетворять следующим требованиям:

– выяснены размеры и характерные формы тел полезного ископаемого, основные особенности условий их залегания и внутреннего строения, оценены изменчивость и прерывистость тел полезного ископаемого, а для пластовых месторождений и месторождений строительного и облицовочного камня – наличие площадей развития малоамплитудных разрывных нарушений;

– определены природные разновидности и промышленные (технологические) типы полезного ископаемого, установлены общие закономерности их пространственного распространения и количественные соотношения промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого, минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; качество выделенных промышленных (технологических) типов и сортов охарактеризовано по всем предусмотренным кондициями параметрам;

– контуры запасов полезного ископаемого определены в соответствии с требованиями кондиций по результатам документации и опробования скважин

и горных выработок, с учетом данных геофизических и геохимических исследований и геологически обоснованной экстраполяции.

Запасы категории C_2 выделяются при разведке месторождений всех групп сложности, а на месторождениях 4-й группы составляют основную их часть. Они должны удовлетворять следующим требованиям:

- размеры, форма, внутреннее строение тел полезного ископаемого и условия их залегания оценены по геологическим и геофизическим данным и подтверждены вскрытием полезного ископаемого ограниченным количеством скважин и горных выработок;

- контуры запасов полезного ископаемого определены в соответствии с требованиями кондиций по данным опробования ограниченного количества скважин, горных выработок и естественных обнажений, с учетом данных геофизических и геохимических исследований и геологических построений, а также путем геологически обоснованной экстраполяции параметров, определенных при подсчете запасов более высоких категорий.

При разделении запасов полезных ископаемых по категориям в качестве дополнительного классификационного показателя могут использоваться количественные и вероятностные оценки точности и достоверности определения основных подсчетных параметров.

Запасы комплексных руд и содержащихся в них компонентов подсчитываются по одним и тем же категориям. Запасы попутных компонентов, имеющих промышленное значение, подсчитываются в контурах подсчета запасов основных компонентов и оцениваются по категориям в соответствии со степенью их изученности, характером распределения и формами нахождения.

Сопоставление категорий запасов, применяемых в РФ и за рубежом. Принятая в РФ классификация запасов в целом соответствует применяемым за рубежом (табл. 9.3).

Категории запасов, принятые в РФ, характеризуются оценками изученности по геологическим, технологическим, горнотехническим и экономическим показателям. В то же время в зарубежных стандартах отдельно существуют характеристики ресурсов – по степени геологической изученности и запасов – по степени детальности оценки технологических, горнотехнических и экономических показателей. Этими различиями обусловлены противоречия в оценке российских месторождений иностранными специалистами. Например, по их мнению, доказанные запасы [proved] могут быть квалифицированы только после экономической оценки ресурсов категории измеренных (measured), соответствующих категориям А и В российской классификации. Месторождения третьей группы сложности в РФ разведываются только до категории C_1 . Таким образом, по результатам международного аудита эти месторождения

не имеют доказанных запасов несмотря на успешное их освоение. Запасы категории C_2 , соответствующие зарубежной категории оцененных ресурсов [inferred], в зарубежных стандартах фактически исключены из экономической оценки. В то же время в РФ эти запасы нередко участвуют в обосновании ТЭО и учитываются при проектировании горнодобывающих предприятий.

Таблица 9.3

Категоризации запасов полезных ископаемых в России и за рубежом

Страна				
<i>Россия</i>	<i>США</i>	<i>Англия</i>	<i>Франция</i>	<i>Германия</i>
A	Измеренные [measured])	Доказанные [proved]	Действи- тельные [prouve]	Надежные [sicher]
B				Вероятные [wasrscheinlich]
C ₁	Исчисленные [indicated]	Вероятные [probable]		Обозначенные [angedeutet]
C ₂	Предполагаемые [inferred]	Возможные [possible]		Предполагаемые [vermutet]

При оценке геологической изученности в РФ используется классификация месторождений по сложности строения. В зарубежных стандартах она отсутствует. В результате иностранные аудиторы при квалификации запасов зачастую не делают различий между мелкими и крупными месторождениями и формально руководствуются только параметрами разведочной сети. Это также создает противоречия между квалификацией запасов по стандартам РФ и зарубежным.

В отечественной практике подсчета запасов существуют требования к размерам подсчетных блоков (в зарубежных стандартах их нет).

В процессе разработки месторождений *по степени подготовленности к добыче* выделяются следующие промышленные запасы: *вскрытые, подготовленные и готовые к выемке*.

К вскрытым относятся запасы, для разработки которых подземным способом не требуется дополнительное сооружение капитальных горных выработок, а для разработки открытым способом проведены все необходимые работы по вскрытию месторождения (участка): пройдены дренажные выработки, траншеи или съезды; нарезаны уступы для укладки транспортных путей; удалены вскрышные породы.

Подготовленные запасы – это часть вскрытых запасов, которая при подземной разработке подсечена основными подготовительными выработками и не требует для выемки проведения дополнительных подготовительных выработок, а при открытой разработке запасы остались незачищенными от породы, оставшейся после экскавации вскрыши.

Запасы, готовые к выемке, – это часть подготовленных запасов, для извлечения которых подземным способом пройдены все подготовительные и нарезные выработки, а при открытом способе – это запасы, для которых произведена полная зачистка полезного ископаемого от вскрышных пород.

9.6.4. Группы запасов по их экономическому значению

Запасы твердых полезных ископаемых и содержащихся в них полезных компонентов по их экономическому значению подразделяются на две основные группы, подлежащие раздельному подсчету и учету:

– *балансовые (экономические)*;

– *забалансовые (потенциально экономические)*.

Балансовые (экономические) запасы. К ним относятся:

а) запасы, *извлечение которых экономически эффективно* в условиях конкурентного рынка при использовании техники и технологии добычи и переработки сырья, обеспечивающих соблюдение требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды;

б) запасы, *извлечение которых не обеспечивает экономически приемлемую эффективность* их разработки в условиях конкурентного рынка из-за низких технико-экономических показателей, *но освоение которых становится экономически возможным при осуществлении со стороны государства специальной поддержки* недропользователя в виде налоговых льгот, субсидий и т. п. (гранично экономические или пограничные запасы).

Забалансовые (потенциально экономические) запасы. К ним относятся:

а) запасы, *отвечающие требованиям, предъявляемым к балансовым запасам*, но использование которых *невозможно* в связи с расположением в пределах водоохранных зон, населенных пунктов, сооружений, сельскохозяйственных объектов, заповедников, памятников природы, истории и культуры и по другим причинам;

б) запасы, *извлечение которых экономически не эффективно* вследствие низких технико-экономических показателей отработки, обусловленных низким содержанием полезного компонента, малой мощностью залежей или особой сложностью условий разработки и переработки, но освоение которых ста-

новится экономически эффективным при повышении цен на минеральное сырье, появлении оптимальных рынков сбыта или новых технологий, *обеспечивающих снижение издержек производства.*

Забалансовые запасы подсчитываются и учитываются в случаях, если технико-экономическими расчетами установлена возможность их сохранения в недрах для последующего извлечения или обоснована целесообразность попутного извлечения, складирования и сохранения для использования в будущем.

При подсчете забалансовых запасов указываются причины отнесения их к группе забалансовых (экономические, технологические, горнотехнические, экологические и т.п.).

Оценка балансовой принадлежности запасов полезных ископаемых производится на основании специальных технико-экономических расчетов, подтвержденных государственной экспертизой.

9.7. Экономическая эффективность геологоразведочных работ

Экономическая эффективность геологоразведочных работ – это их результативность. Критерием эффективности является качественное решение геологических задач с наименьшими трудовыми и материальными затратами. Решаемые задачи определяются их целевым назначением и зависят от стадии ГРР.

Основные целевые назначения ГРР:

- на стадии «Оценка месторождений» выявление месторождений полезных ископаемых с оценкой запасов по категориям C_2 и C_1 и прогнозных ресурсов категории P_1 ; составление ТЭО промышленной ценности месторождения;
- на стадии «Разведка месторождения» – подсчет запасов по категориям А, В, C_1 и C_2 ; изучение геологических, гидрогеологических, горно-геологических, технологических и других данных с детальностью, достаточной для составления ТЭО освоения месторождения и проекта разработки;
- на стадии «Эксплуатационная разведка» – определение запасов в подготовленных и готовых к выемке блоках; получение материалов для оценки полноты отработки месторождения, уточнение потерь и разубоживания полезного ископаемого.

Экономическая эффективность ГРР оценивается по соотношению затрат на геологоразведочные работы и капитальных вложений, ожидаемого дохода за определенный промежуток времени (на весь срок существования предприятия, на пятилетку, год и т. д.) с учетом установленных при ГРР запасов и прогнозных ресурсов. *В качестве показателей эффективности* обычно используются следующие:

1. Отношение стоимости разведки 1 т запасов полезного ископаемого к ценности, извлекаемой из него продукции. Иначе это *фактическая стоимость разведки* (Φ_p) или стоимость 1 т запасов на 1 руб. затрат:

$$\Phi_p = Z_{\text{общ}} / P,$$

где $Z_{\text{общ}}$ – общие затраты на проведение ГРР, руб.; P – запасы руды (компонента).

В расчет принимаются балансовые запасы категорий А, В, С₁.

2. Отношение стоимости разведки 1 т запасов полезного ископаемого к удельным капитальным вложениям в освоение месторождения. Иначе, это стоимостная отдача затрат (СОЗ) или ценность извлекаемых запасов на 1 руб. затрат:

$$COZ = \Pi \cdot I \cdot Ц \cdot Z_n / Z,$$

где Π – прирост запасов по сумме категорий А+В+С₁; I – коэффициент извлечения при добыче и переработке; $Ц$ – рыночная цена единицы товарной продукции; Z_n – стоимость попутной продукции; Z – затраты на ГРР за расчетный период.

3. Годовая прибыль предприятия на 1 руб. затрат по разведке месторождения.

4. Прибыль предприятия за весь срок его существования на 1 руб. затрат по разведке месторождения.

5. Отношение стоимости разведки 1 т запасов полезного ископаемого к стоимости его добычи за определенный промежуток времени (год, пятилетка и т. п.).

Основными направлениями повышения эффективности геологоразведочных работ являются:

а) сосредоточение основных объемов ГРР в наиболее перспективных рудных районах, полях, узлах, комплексах горных пород, где затраты на поиски и разведку месторождений минимальны, а экономическая ценность запасов по природным, транспортно-экономическим условиям, количеству и качеству максимальная;

б) совершенствование организации и методики проведения ГРР, внедрение передовой техники, технологии, прогрессивных методов проходки разведочных горных выработок и скважин;

в) повышение качества всего комплекса ГРР, обеспечивающих необходимую и достаточную достоверность запасов, их качественную характеристику; полноту геологической информации о месторождении, включая возможность комплексного использования полезного ископаемого и вскрышных

горных пород, надежную оценку определения горно-геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических и других условий вскрытия и эксплуатации месторождения и т. д.

9.8. Информационное обеспечение геологического изучения недр

Геологическое информационное обеспечение является одним из важнейших элементов геологического изучения территорий, недропользования и воспроизводства минерально-сырьевой базы страны. Оно находится в ведении *федерального государственного бюджетного учреждения «Российский федеральный геологический фонд»* (ФГБУ «Росгеолфонд»), *территориальных фондов* геологической информации в *федеральных округах и филиалов территориальных фондов* в субъектах Российской Федерации.

Основными видами деятельности ФГБУ «Росгеолфонд», входящего в структуру Министерства природных ресурсов и экологии РФ (Минприроды), являются:

- 1) сбор, формирование, хранение и ведение геологических информационных ресурсов, в том числе первичных материалов и керна скважин;
- 2) подготовка и издание Государственного баланса запасов полезных ископаемых, создание цифровых карт размещения месторождений и лицензионных участков;
- 3) ведение и пополнение Государственного кадастра месторождений и проявлений полезных ископаемых РФ;
- 4) формирование и наполнение ФГИС «Единый фонд геологической информации о недрах»;
- 5) формирование и ведение государственного реестра работ по геологическому изучению недр, участков недр, предоставленных для добычи полезных ископаемых, а также в целях, не связанных с их добычей, и лицензий на пользование недрами;
- 6) развитие, сопровождение и ведение государственных информационных систем Федерального агентства по недропользованию (ФА «Роснедра») и интерактивных сервисов доступа потребителей к геологической информации;
- 7) формирование и ведение массивов учетных документов по недропользованию, формирование и анализ сводных отчётных показателей о ходе лицензирования в Российской Федерации.

Сведения о состоянии и изменении запасов и прогнозных ресурсов полезных ископаемых, их оценочной стоимости, о выполнении геологоразведочных работ составляются в соответствии с утвержденными Росстатом формами и методическими указаниями по их составлению. Эта информация представляется в филиал (по месту нахождения объекта недропользования) территориального фонда, в территориальный фонд и в ФГБУ «Росгеолфонд» в электронном виде через *личный кабинет недропользователя*.

Основными формами статистической отчетности по твердым видам полезных являются:

Форма № 2–ГР. Сведения о выполнении геологоразведочных работ.

Форма № 5–ГР. Сведения о состоянии и изменении запасов твердых полезных ископаемых.

Форма № 7–ГР. Сведения о выполнении геологоразведочных работ по их видам и группам полезных ископаемых.

Форма № 70–тп. Сведения об извлечении полезных ископаемых при добыче.

Форма № 71–тп. Сведения о комплексном использовании полезных ископаемых при обогащении и металлургическом переделе, вскрышных пород и отходов производства.

Форма № 1–РСПИ. Сведения о текущей рыночной стоимости запасов полезных ископаемых.

Подготавливаемые ФГБУ «Росгеолфонд» информационные материалы – *Государственный баланс запасов полезных ископаемых, Государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых*, сводные выпуски о запасах и добыче важнейших полезных ископаемых, информационно-аналитические материалы по геологической изученности, состоянию минеральных ресурсов и др. представляются федеральным органам исполнительной власти для принятия управленческих решений, недропользователям, научным и производственным организациям для реализации задач, связанных с изучением и использованием недр.

Список литературы

Авдонин В. В., Ручкин Г. В., Шатагин Н.Н., Лыгина Т. И., Мельников М. Е. / под ред. В. В. Авдонина. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов. М.: Академический проект; Фонд «Мир», 2007. 540 с.

Алексеев В. А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: учебник для геологических специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1989. 304 с.

Аристов В. В. Поиски твердых полезных ископаемых. М.: Недра, 1975. 253 с.

Ворошилов В. Г. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томск. политех. ин-та, 2011. 104 с.

Волков В. Н. Геологическая документация и опробование поисково-разведочных выработок: учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2007. 120 с.

Временное положение об этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ. Утв. МПР РФ 07.02.2001, № 126. М.: МПР РФ, 2001. 16 с.

Государственный доклад. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2022 году. М.: ФГБУ «ВИМС», 2023. 640 с.

Григорян С. В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождений. М.: Недра, 1987. 408 с.

Каждан А. Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Научные основы поисков и разведки месторождений. М.: Недра, 1984. 285 с.

Ковалевский А. Л. Биохимические поиски рудных месторождений. М.: Недра, 1984. 172 с.

Коробейников А. Ф. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов. Томск: Изд-во Томского политех. ун-та, 2009. 253 с.

Красников В. И. Основы рациональной методики поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1969. 399 с.

Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов. М.: Недра, 1969. 384 с.

Лебедев Г. В. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие: в 2 т. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. Т. 1: Прогнозирование и поиски месторождений. 220 с.

Лебедев Г. В. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Т. 1: Прогнозирование и поиски месторождений. 2-е изд. электронное: учеб.

пособие. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2018. URL: <https://elis.psu.ru/node/513758>. Дата обращения: 18.12.2024.

Лебедев Г. В. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: учебное пособие: в 2 т. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. – Т. 2: Разведка месторождений. 200 с.

Лебедев Г. В. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: Том 2: Разведка месторождений. 2-е издание электронное: учеб. пособие. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2022. URL: <https://elis.psu.ru/node/643066>. Дата обращения: 18.12.2024.

Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М.: Мир, 1968. 407 с.

Мягков В. Ф. Геохимический метод парагенетического анализа руд. М.: Недра, 1984. 120 с.

Осовецкий Б. М. Шлиховой метод / Перм. гос. нац. ун-т. Пермь, 2006. 162 с.

Погребницкий Е. О., Парадеев С. В., Поротов Г. С. и др. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Изд. 2-е / под ред. Е. О. Погребницкого, В. И. Тернового. М.: Недра, 1977. 405 с.

Поротов Г. С. Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов / СПбГУ. СПб., 2004. 244 с.

Смирнов В. И. Геология полезных ископаемых. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1982. 669 с.

Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. 294 с.

Соболевский П. К. Современная горная геометрия // Социалистическая наука и реконструкция. 1932. № 7. С. 32–65.

Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А. П. Соловов, А. Я. Архипов, В. А. Бугров и др. М.: Недра, 1990. 335 с.

Сунцев А. С. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Подсчет запасов полезных ископаемых: метод. указания по выполнению учеб. заданий / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2018. 44 с.

Швыряева А. М. О возможности применения биогеохимического метода при поисках борного сырья. М.: Госгеолтехиздат, 1957. С. 305–312.

Четвериков Л. И. Теоретические основы моделирования тел полезных ископаемых. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1968. 152 с.

**Список
важнейших нормативно-методических документов
по поискам и разведке твердых полезных ископаемых**

ГОСТ Р 53579-2009. Отчет о геологическом изучении недр. Общие требования к содержанию и оформлению. М., 2009. 76 с.

ГОСТ 32453-2017. Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразования определяемых точек. М.: Стандартинформ, 2017, 20 с. Введен в действие с 01.07.2018.

Закон Российской Федерации «О недрах»: утв. 21.02.1992, № 2395-1. В редакции, действующей с 12.12.2023, № 576-ФЗ.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1983. 191 с.

Инструкция по организации и производству геологосъемочных работ и составлению Государственной геологической карты СССР масштаба 1 : 50 000 (1 : 25 000). М.: Изд-во м-ва геологии СССР, 1986. 139 с.

Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1: 200 000. М.: Роскомнедра, 1995. 244 с.

Инструкция по отбору, документации, обработке, хранению, сокращению и ликвидации керна скважин колонкового бурения. М.: Геоинформмарк, 1994, 32 с.

Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ. Утв. МПР РФ 30.11.1998, № 249; актуализирована 01.01.2018. М.: Изд-во МПР РФ, 1996. 106 с.

Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Утв. МПР РФ 11.12.2006, № 275. М.: Изд-во МПР РФ, 2006. 6 с.

Методическое пособие по геологической съемке масштаба 1 : 50 000. Вып. 14. Геологическая документация при геологосъемочных и поисковых работах / А. И. Бурдэ, А. А. Высоцкий, А. Н. Олейников и др. Л.: Недра, 1984.

Методические рекомендации по опробованию при проведении средне- и мелкомасштабных полевых работ. СПб.: ВСЕГЕИ, 2019. 59 с.

Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых: брошюры по видам полезных ископаемых. М.: ФГУ «ГКЗ», 2007.

Методические рекомендации по сопоставлению данных разведки и разработки месторождений твердых полезных ископаемых. М.: ФГУ «ГКЗ», 2007. 30 с.

Методические рекомендации по составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическим обоснованиям кондиций для подсчета запасов месторождений полезных ископаемых. М.: ФГУ «ГКЗ», 2007. 43 с.

Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 (второго издания). СПб.: Изд-во Минприроды РФ, ФГУП «ВСЕГЕИ», 2009. 231 с.

Методическое руководство по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третьего поколения). М.: Роснедра; СПб.: ВСЕГЕИ, 2008. 249 с.

Полевая геология: справочное руководство. Кн. 1 / под ред. В. В. Лаврова, А. С. Кумпана. Л.: Недра, 1989. 400 с.

Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). Утв. МПР РФ 05.07.1999, № 832-р. М.: Изд-во МПР РФ, 1999. 12 с.

Правила подготовки и утверждения региональных перечней полезных ископаемых, относимых к общераспространенным полезным ископаемым. Утв. постановлением Правительства РФ 02.11.2021 г., № 1905. М.: ФГУ «ГКЗ», 3 с.

Правила проведения государственной экспертизы запасов полезных ископаемых и подземных вод, геологической информации о предоставляемых в пользование участках недр, определения размера и порядка взимания платы за ее проведение. Утв. постановлением Правительства РФ 01.03.2023 г., № 335. М.: ФГУ «ГКЗ», 2023. 36 с.

Рекомендации к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по технико-экономическому обоснованию кондиций и подсчету запасов твердых полезных ископаемых с использованием блочного моделирования на месторождениях различного морфологического типа. М.: ФГУ «ГКЗ», 2015. 88 с.

Учебное издание

Лебедев Генрих Васильевич

**ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Учебное пособие

Редактор *Н. И. Стрекаловская*

Корректор *А. В. Цветкова*

Компьютерная верстка: *Г. В. Лебедев*

Подписано в печать 21.03.2025. Формат 70×100/16

Усл. печ. л. 31,85. Тираж 150 экз. Заказ 109

Управление издательской деятельности
Пермского государственного
национального исследовательского университета.

614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

+7 (342) 239-66-36

Отпечатано в типографии «Здравствуй»
614068, г. Пермь, ул. Сергея Данщина, 7, лит. Д

+7 (342) 270-14-05

