

Министерство образования и науки Российской Федерации

Магнитогорский государственный технический
университет им. Г. И. Носова

С.В. Попов

ЛЕКЦИИ ПО РУДНИЧНОЙ ГЕОЛОГИИ

*Утверждено Редакционно-издательским советом
университета в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2013

УДК 550.8(075.8)

Рецензенты:

Доктор геолого-минералогических наук,
профессор кафедры методики поисков и разведки мпи МГГРУ
П.П. Ясковский

Главный геолог
Магнитогорской геолого-разведочной партии, кандидат
геолого-минералогических наук
Е.В. Климанов

Попов, С.В.

Лекции по рудничной геологии: учеб. пособие / С.В. Попов. Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. 83 с.

Рассмотрены вопросы разведки, опробования и моделирования месторождений полезных ископаемых. Цели, задачи и методы совместной работы разработчиков и разведчиков недр описаны в объеме, который обеспечивает горным инженерам возможность использования геологической информации при планировании и управлении горными работами. Для овладения курсом рудничной геологии необходимо знание основ фундаментальных геологических дисциплин и прикладных разделов математики. Пособие предназначено для студентов горных специальностей, чтобы помочь им систематизировать свои знания при подготовке к сдаче экзамена.

УДК 550.8(075.8)

© Магнитогорский государственный
технический университет
им. Г.И. Носова, 2013
© Попов С.В., 2013

ВВЕДЕНИЕ

Учебными стандартами не предусмотрено изучение рудничной геологии всеми студентами горных специальностей. Уменьшение общего числа аудиторных часов, отводимых для изучения геологии, связано, прежде всего, с увеличением доли экономических дисциплин. В это же время из геологии выхолащиваются ее экономическое содержание, ее разделы, имеющие прикладное значение. Изучив в очень ограниченном объеме фундаментальные геологические науки и одну прикладную дисциплину, инженерную геологию, будущие горные инженеры оказываются беспомощными в вопросах взаимоотношения с геологической службой, промышленной разведки, опробования, прогноза количества и качества полезного ископаемого, учета движения запасов. Сведения, предусмотренные учебным стандартом, касающиеся разведки, если их успевают дать в отведенные часы, едва ли без надлежащего закрепления успевают удержаться в сознании студентов, так как достаточно сложны для усвоения. Обычным последствием вышесказанного является недостаточное обеспечение предприятий разведанным и качественно охарактеризованным сырьем.

Вопросы разведки и геолого-экономической оценки месторождений неправильно было бы разделять на предшествующие и сопутствующие добыче. Тем более, неверно изучать вопросы разведки и оценки месторождений в одном разделе с МПИ, так как это отдельная дисциплина, базирующаяся на своей методике и своих научных положениях, а целью их изучения является оптимально организованная эксплуатация месторождений. Поэтому все вопросы, связанные с разведкой и оценкой полезных ископаемых, для негеологических дисциплин целесообразно объединять в курсе рудничной геологии. Изучение требует не менее 36 часов лекционных занятий и столько же практических работ. Этого объема аудиторных занятий все-таки недостаточно для усвоения дисциплины. Поэтому она должна включать курсовую работу, где студенты могли бы по выбору решать различные задачи разведки, геолого-экономической оценки, моделирования месторождений, прогноза количества и качества и учета движения запасов.

Пособие предназначено для студентов специальностей 090200 и 090500. Оно не может заменить учебников, но является предметом первого знакомства с дисциплиной, ставит задачи для

более подробного изучения предмета по учебникам и практикумам. Знание рудничной геологии помогает горным инженерам в грамотном подходе к обеспечению предприятия рудной базой, к управлению качеством полезного ископаемого, его эффективному и комплексному использованию. Раздел «Гидрогеологическое и инженерно-геологическое обеспечение горных работ» не входит в пособие, так как эти вопросы рассматриваются при изучении гидрогеологии и инженерной геологии.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

1. Целями изучения дисциплины (модуля) является овладение методикой геолого-маркшейдерского обеспечения горных работ.

2. Место дисциплины в структуре подготовки специалиста.

Дисциплина располагается на стыке естественно-научных и технических наук. Необходимо предварительное изучение общих курсов геологии и геодезии, без овладения которыми изучение рудничной геологии невозможно.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля), указываются в федеральном образовательном стандарте для направления 130400 «Горное дело».

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Проявить готовность использовать законы и методы при оценке состояния окружающей среды в сфере функциональных производств по разведке, добыче и переработке твердых полезных ископаемых, при строительстве и эксплуатации производственных объектов

Уметь демонстрировать пользование компьютером как средством управления и обработки информативных материалов.

Владеть навыками анализа горно-геологических условий при разведке и добыче твердых полезных ископаемых при строительстве и эксплуатации производственных объектов.

Владеть методами геолого-промышленной оценки месторождений полезных ископаемых, законодательными основами недропользования, обеспечения безопасности работ при добыче, переработке полезных ископаемых, строительстве и эксплуатации промышленных сооружений.

4. Структура и содержание дисциплины (модуля). Общая трудоемкость дисциплины составляет 72 часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Виды и объемы работ в часах			
		Лекции	Лабо- ра- торные занятия	Самостоя- тельная работа	Формы текущего контроля успеваемости
1	Классификация запасов	2		2	Диалог и оценка знаний
2	Степень разведанности	1		1	То же
3	Кондиции	2		2	—//—
4	Разведка месторождений	2		2	—//—
5	Геологическое обеспечение проектирования горных работ	2		2	—//—
6	Моделирование месторождений	2		2	—//—
7	Опробование	2		2	—//—
8	Учет движения запасов, потерь и разубоживания	2		2	—//—
9	Комплексное использование недр	2		2	—//—
10	Организация геологической службы ГОКа	1		1	—//—
11	Подсчет запасов		12		Защита и оцен- ка работы
12	Комплексная оценка руды		6		Защита и оцен- ка работы

5. Образовательные технологии. Лекционные занятия чередуются с лабораторными, периодически проводится предметный диалог с каждым студентом по материалам теоретических и практических занятий. Ближе к концу семестра студенты отвечают на вопросы тестов

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):

Попов С.В. Лекции по рудничной геологии: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010.

Попов С.В. Подсчет запасов методом разрезов: метод. указания. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010.

Попов С.В. Геологическое обеспечение текущего планирования горных работ. Учет движения запасов: метод. указания. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2012.

Попов С.В. Комплексная оценка руды: метод. указания. Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2013.

Попов С.В. Геология и минеральные ресурсы Урала: учеб. пособие. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010.

1. ПРЕДМЕТ РУДНИЧНОЙ ГЕОЛОГИИ, ЕЕ ЗАДАЧИ

Перед горнодобывающей отраслью промышленности всегда стоят две основные задачи:

- 1) выпуск продукции высокого качества;
- 2) повышение экономической эффективности работы.

Ровное и высокое качество минерального сырья обеспечивает высокую эффективность и производительность обрабатывающей промышленности. Эффективность работы горных предприятий в значительной мере зависит от полноты использования полезных ископаемых: полного извлечения запасов, попутного использования примесей в рудах, побочных продуктов переработки сырья, отходов, пород вскрыши. Хорошие результаты при этом возможны при наличии исчерпывающих данных о полезных ископаемых: строении месторождения, морфологии залежей, вещественном составе и технологических свойствах сырья, изменении его состава и свойств при добыче и переработке. Одну из ведущих ролей в этом играет геологическая служба горных предприятий.

Горные инженеры должны иметь представление о природных факторах и условиях вовлечения геологических объектов в горное производство, о закономерностях преобразования полезных ископаемых при добыче и переработке. Руководителям горных предприятий, цехов и участков необходимо иметь четкое представление о роли рудничных геологов и задачах рудничной геологической службы.

Рудничная геология стоит в ряду геологических дисциплин, изучающих полезные ископаемые и их месторождения, и при этом наиболее пристально. Предметом ее изучения являются месторождения и минеральное сырье во время их разработки горными предприятиями. Она занимается вопросами разведки и промышленного освоения месторождений, изучает геологию и структуру месторождений, вещественный состав и технологические свойства

сырья, его сорта и типы, их особенности и пространственную локализацию. Рудничные геологи совершенствуют методику разведки и опробования и на основе их результатов дают прогноз качественных показателей и количества полезного ископаемого при планировании горных работ. Они участвуют в учете движения запасов полезного ископаемого, потерь и разубоживания и разрабатывают мероприятия по их оптимизации, определяют пути наиболее полного и комплексного использования главных и побочных продуктов производства на всех его этапах.

При таком многообразии задачи рудничной геологической службы могут группироваться в две основные: обеспечение предприятия разведанным и качественно охарактеризованным полезным ископаемым; получение достоверной информации о количестве и качестве сырья в проектном и плановом контуре горных работ; всесторонняя помощь горному предприятию в вопросах технически правильной и экономически эффективной разработки месторождения, сокращения потерь полезного ископаемого при комплексном его использовании.

Методы изучения полезных ископаемых рудничными геологами базируются на фундаментальных положениях физики и химии, а также геологических дисциплин: минералогии, петрографии, структурной геологии, гидрогеологии и инженерной геологии, учения о полезных ископаемых. Научные положения из области разведки и оценки месторождений, методы подсчета запасов, а также математический аппарат обработки первичных данных используются в рудничной геологии. Горная геометрия служит основой для камеральной обработки полевых геологических материалов, изучения пространственных закономерностей во внутреннем строении рудных тел. Методы и направления работы рудничных геологов в значительной мере зависят от технологических факторов: системы разработки месторождения и схем обогащения руд. Экономика является критерием оценки решений, принимаемых на основе геологических данных. В свою очередь материалы рудничной геологической службы являются исходными данными для технологов и экономистов в выборе оптимального варианта добычи и управлении качеством продукции.

2. СТРУКТУРА И ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ НА ГОРНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Поиски, предварительную и детальную разведку месторождений полезных ископаемых, а также генеральный подсчет запасов и его экспертизу, в государственной комиссии осуществляют геологоразведочные партии Министерства геологии Российской Феде-

рации. После завершения детальной разведки месторождения передаются государством на баланс горным предприятиям, которые финансируют проектирование добычи и обогащения и осуществляют разработку минерального сырья.

В составе крупных горнодобывающих предприятий создаются геологические отделы, возглавляемые главным геологом ГОКа или рудоуправления (рис. 2.1). В подразделениях ГОКов (шахта, карьер, прииск) существуют геологические бюро, подчиняющиеся начальнику цеха, а в методическом отношении – главному геологу предприятия. В штате геологического бюро имеются геологи участков, подчиненные старшему геологу шахты или карьера, и иногда рабочие опробовщики. На некоторых предприятиях создаются отделы главного геофизика и главного гидрогеолога. Чаще геофизики и гидрогеологи входят в состав геологических отделов и бюро. В составе отдельных предприятий функционируют геологоразведочные партии или цехи разведки, подчиненные главному геологу предприятия, и работают тематические группы, занимающиеся исследованиями по специальным вопросам. Права и обязанности подразделений геологической службы и должностных лиц определяются положением о рудничной геологической службе.

Главный геолог осуществляет методическое руководство всей геологической службой предприятия, возглавляет работу по оформлению методических инструкций, планов и проектов геологоразведочных работ, геологической отчетности. Он участвует в составлении планов добычи, учете движения запасов, потерь и разубоживания, оформлении мероприятий по оптимизации работы предприятия, разработке направлений научно-исследовательских и тематических работ на предприятии и по договорам.

Старший геолог руководит работой геологического бюро, участвует в оформлении планов и проектов доразведки и эксплуатационной разведки, в составлении планов добычи, учете движения запасов, потерь и разубоживания, разработке мероприятий по оптимизации работы рудника, контролирует направление добычных работ, обобщает результаты разведки и первичной геологической документации.

Геолог участка занимается первичной геологической документацией забоев, пополняет графические материалы, принимает участие в составлении планов разведочных и добычных работ, руководит разведкой и опробованием на своем участке, контролирует направление добычных работ, участвует в оформлении материалов по учету движения запасов, потерь и разубоживания, погашения горных выработок.

Работа подразделений рудничной геологической службы координируется с работой цехов и отделов горного предприятия. Результаты геологических работ и исследований стоят в основе технологического процесса добычи и переработки полезных ископаемых.

Повседневная роль геологов состоит в выдаче исходных данных для планового и производственного отделов, а также всей информации о полезном ископаемом для маркшейдерской службы. Информация выдается в виде данных геологической документации и опробования разведочных и горных выработок, интерпретированных в графических и табличных материалах. На базе этой информации строится вся работа предприятия, начиная с горно-капитальных, буро-взрывных и очистных работ и кончая обогащательным производством. Без участия геологов любое исследование, касающееся конкретного использования горных пород, руд и минералов, дает неполноценные или ошибочные результаты. Поэтому рудничные геологи участвуют как в составлении планов научно-исследовательских работ на предприятии, так и непосредственно выполняют значительную долю исследований или курируют их исполнение сторонними организациями.

Ближайшим сотрудником геолога на руднике является маркшейдер. Объект их совместной работы – это полезное ископаемое в недрах и в процессе добычи. Геологи и маркшейдеры часто совместно производят документацию горных выработок, а данные документации и опробования обобщают на одних и тех же планах, которые являются исходными для составления плана горных работ. Геологическая и маркшейдерская службы совместно осуществляют учет движения и списания балансовых запасов, потерь и разубоживания руды.

Геофизики совместно с геологами производят опробование руд в скважинах и забоях. Геофизическая служба является либо самостоятельной, либо входит в состав геологической службы.

Контроль качества полезного ископаемого и готовой продукции горного предприятия, а также разработка мероприятий по опробованию, улучшению качества продукции, усовершенствованию технологии добычи и переработки сырья, осуществляется совместно геологами, геофизиками, коллективами лабораторий рудоиспытательной станции и отделом технического контроля. К этой работе часто привлекаются геологи научно-исследовательских институтов и специальных кафедр вузов.

3. ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

3.1. Классификация запасов полезных ископаемых

Разведывать детально сразу все запасы месторождения экономически нецелесообразно. Обычно так разведываются запасы, на базе которых целесообразно строительство горного предприятия. Горные работы проектируются, как правило, не более чем на 25-30 лет. Запасы, вошедшие в проектный контур, называются промышленными. Но промышленные запасы также не все разведываются с одинаковой детальностью. Наиболее доступные для добычи участки и горизонты рудных залежей разведываются с такой детальностью, чтобы в течение начального периода эксплуатации месторождения можно было с достаточной точностью планировать количество и качество добытого полезного ископаемого. Таким образом, на детально разведанном месторождении всегда выделяется несколько категорий запасов, разведанных с различной детальностью.

Категории запасов обозначаются буквами латинского алфавита: А, В, C_1 и C_2 . Категории А и В называются высшими, так как на базе их суммы в большинстве случаев можно планировать количество и качество добытого полезного ископаемого. Точность подсчета запасов категории А составляет 5-10%, а для категории В – 15-25% [27]. Категории запасов А, В и C_1 вместе называются промышленными, так как образуют главную часть промышленных запасов. Точность подсчета запасов категории C_1 составляет 25-50%. Категория C_2 может образовывать часть промышленных запасов, которые намечаются к эксплуатации через 15-25 лет. Точность подсчета запасов категории C_2 составляет 50-100%. Полезные ископаемые, не разведанные, но оцененные теми или иными способами, представляют не запасы, а так называемые прогнозные ресурсы. Их по достоверности оценки также подразделяют на три категории: P_1 , P_2 и P_3 .

Требования к изученности запасов различных категорий

Категория А – запасы детально изучены и оконтурены плотной сетью горных выработок и колонковых скважин; морфология рудных залежей, условия залегания, гидрогеологические условия изучены для отдельных блоков и горизонтов; промышленные сорта полезного ископаемого и распределение их установлены в каждом блоке и они оконтурены графически на геологических разре-

зах и планах; качество и технология обработки полезного ископаемого изучены на основе опыта промышленного использования или по промышленным схемам. Границы блоков категории А проводят только через продуктивные разведочные выработки с кондиционным качеством и мощностью залежи (рис. 3.1).

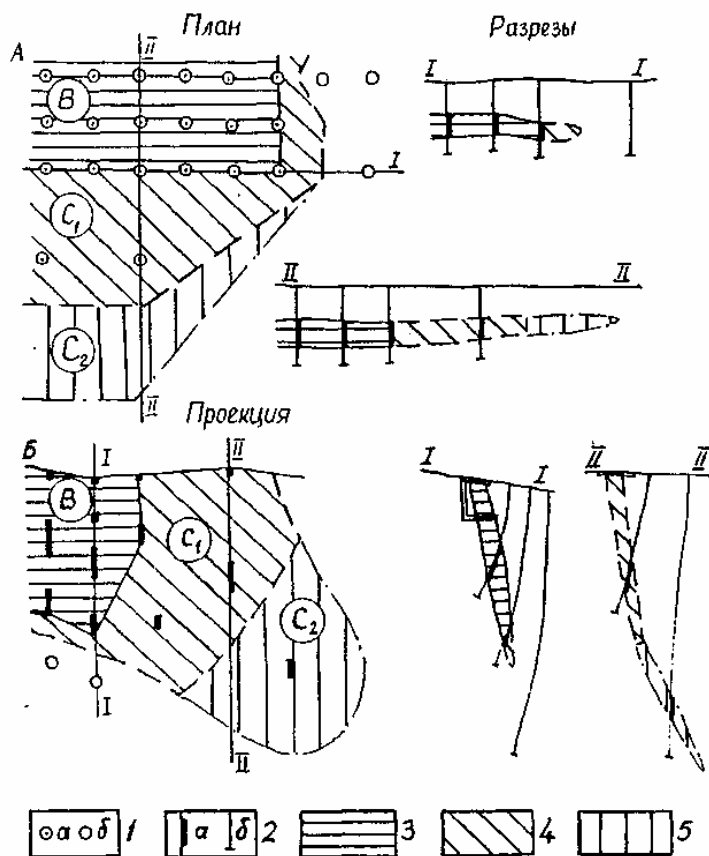


Рис. 3.1. Оконтуривание запасов полезного ископаемого по категориям: А – пластовое горизонтальное тело; Б – линзообразное крутопадающее тело; 1 – разведочные скважины (а – рудная в плане, б – безрудная в плане и на проекции); 2 – разведочные скважины (а – рудная на разрезе и проекции, б – безрудная на разрезе); 3 – запасы категории В; 4 – запасы категории С₁; 5 – запасы категории С₂

Категория В – запасы детально изучены и оконтурены плотной сетью горных выработок и колонковых скважин; морфология рудных залежей, условия залегания и гидрогеологические условия

изучены с детальностью, достаточной для проектирования горных работ; природные типы и промышленные сорта полезного ископаемого установлены без детализации их распределения; качество и технологические свойства полезного ископаемого изучены в мере, обеспечивающей выбор схемы его обработки. Правила оконтуривания блоков те же, что и для категории А, но иногда допускается интерполяция и экстраполяция на расстояние, не превышающее плотность сети разведки для категории В.

Категория C_1 – запасы определены на основании редкой сети скважин и горных выработок; запасы, примыкающие к блокам высших категорий; запасы особо сложных месторождений, для которых, несмотря на плотную сеть разведочных выработок, распределение ценного компонента или минерала не выяснено; морфология рудных залежей, условия залегания и гидрогеологические условия изучены в общих чертах; качество, природные типы, промышленные сорта и технология обработки полезного ископаемого определены предварительно на основании анализов или лабораторных испытаний проб, а также по аналогии с изученными месторождениями. Границы блоков категории C_1 проводят на основе широкого использования интер- и экстраполяции.

Категория C_2 – запасы, примыкающие к участкам, разведанным по промышленным категориям, а также запасы, предполагаемые по геологическим и геофизическим данным, подтвержденным опробованием полезного ископаемого в отдельных разведочных выработках и скважинах.

3.2. Кондиции для оконтуривания и подсчета запасов

Кондиции – это совокупность предельных требований для показателей количества, качества минерального сырья и горно-геологических параметров месторождения, при которых обеспечиваются экономически оправданное оконтуривание, подсчет запасов и разработка месторождения. Наиболее изменчивым во времени факториальным параметром для определения кондиций является цена готовой продукции. Поэтому при разведке и эксплуатации месторождения кондиции могут неоднократно изменяться. Как минимум, они составляются дважды:

- после предварительной разведки для оперативного подсчета запасов, составления ТЭД и обоснования детальной разведки месторождения; эти кондиции условно называются временными;

- после детальной разведки для генерального подсчета запасов и проектирования горного предприятия. Эти кондиции называются постоянными. Однако при изменении экономических или других условий эксплуатации полезного ископаемого, возник-

новении новых требований промышленности, внедрении новых технологий переработки минерального сырья и т.п. кондиции могут изменяться.

При определении кондиций подсчитываются запасы полезного ископаемого при трех или более вариантах оконтуривания рудных залежей. Определяются сумма расходов на разведку, добычу и переработку этих запасов, а также количество и качество готовой продукции. Сумма затрат по всем вариантам сравнивается с суммой реализации готовой продукции при существующих оптовых ценах. Кондиции принимаются по варианту, когда разность затрат и доходов равна нулю. Временные кондиции принимаются и утверждаются в территориальном комитете по геологии, а постоянные принимаются государственной экспертной комиссией.

Существуют следующие виды кондиций:

- минимальное промышленное содержание полезных компонентов;
- бортовое содержание полезных компонентов;
- минимальная мощность тел полезных ископаемых;
- максимальная мощность безрудных прослоев, включаемых в подсчет запасов;
- минимальный метропроцент;
- минимальный коэффициент рудоносности;
- глубина разработки и максимальный коэффициент вскрыши;
- минимальные запасы полезного ископаемого.

Минимальное промышленное содержание полезных компонентов

Под минимальным промышленным содержанием понимают такое содержание полезного компонента в подсчетном блоке, извлекаемая ценность которого обеспечивает возврат всех затрат на добычу и переработку полезного ископаемого, включая капиталовложения. Разумеется, на значение данного показателя оказывает непосредственное влияние извлечение полезного компонента в товарный продукт. Снижение коэффициента извлечения уменьшает извлекаемую ценность и, соответственно, увеличивает минимальное промышленное содержание полезного компонента. При комплексном извлечении из руды двух или нескольких компонентов также возрастает совокупная извлекаемая ценность. При этом снижается минимальное промышленное содержание каждого отдельного компонента. Комплексное использование отходов: пород вскрыши, хвостов обогащения и пр. увеличивает сумму доходов и также уменьшает минимальное промышленное содержание.

Бортовое содержание полезных компонентов

Под бортовым понимается такое содержание полезного компонента в краевых пробах, включение которых в контур промышленных запасов позволяет правильно оценить специфические особенности месторождения и наметить оптимальный вариант его эксплуатации с учетом наименьших затрат и потерь сырья в недрах и положительного экономического эффекта. Бортовое содержание может быть равным или несколько меньшим, чем минимальное промышленное содержание. При различных вариантах бортового содержания по-разному оконтуриваются рудные залежи (рис. 3.2), подсчитываются различные количество запасов и различные средние значения показателей качества (табл. 3.1). Варианты, когда среднее содержание полезного компонента в блоке меньше минимального промышленного содержания, отвергаются. Принимается вариант бортового содержания, при котором контуры залежей наименее сложные, а количество потерь полезного ископаемого в недрах минимальное. Влияние комплексного использования полезного ископаемого на бортовое содержание проявляется так же, как на минимальное промышленное содержание.

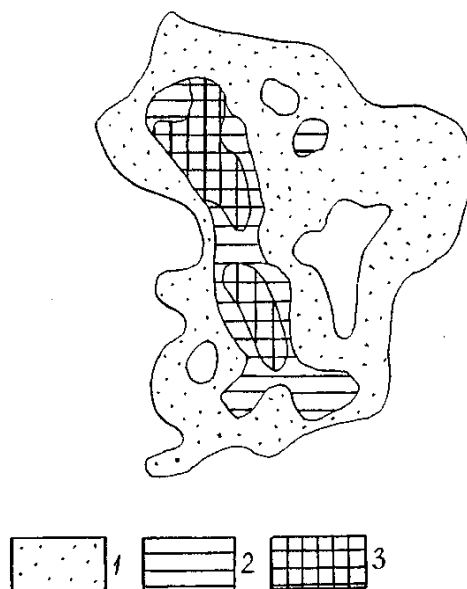


Рис. 3.2. Влияние бортового содержания на морфологию залежей крупного штокверкового молибденового месторождения [19]; содержание молибдена, %:
1 – 0,06-0,08; 2 – 0,08-0,1; 3 – более 0,1

Таблица 3.1

Технико-экономические показатели разработки месторождения
по вариантам бортового содержания [19]

Показатели	Варианты бортового содержания молибдена, %	
	0,06	0,08
Запасы руды, млн. т	534	145
Запасы металла, тыс. т	408	142
Среднее содержание, %	0,076	0,1
Годовая производительность:		
по руде, тыс. т	5000	2500
по металлу, т	2920	2993
Разубоживание,	10	15
Содержание молибдена в добываемой руде с учетом разубоживания, %	0,073	0,093
Себестоимость добычи 1 т руды, р.	1,5	2,0
Себестоимость обогащения 1 т руды, р.	2,0	3,0
Извлечение металла, %	80	90
Содержание молибдена в концентрате	51	51
Расход руды на 1 т концентрата, т	874	610
Капиталовложения, млн. руб.	150	80
Амортизационные отчисления на 1 т руды в размере 15%, руб.	4,5	4,8
Себестоимость 1 т концентрата, руб.	6962	5978
Оптовая цена 1 т концентрата, руб.	6280	6280
Прибыль (+), убыток (-) на 1 т концентрата, руб.	-682	+302

Минимальная мощность тел полезных ископаемых

Разработка залежей полезных ископаемых большой мощности обеспечивает возможность использования высокопроизводительных технологий добычи и снижения стоимости добычных работ. При разработке весьма маломощных тел полезное ископаемое разубоживается пустыми породами, увеличивается себестоимость единицы продукции. Расчетная минимальная мощность соответствует такой мощности залежи, при разработке которой при прочих оптимальных условиях оконтуривания блока сумма затрат на добычу и переработку будет равняться сумме доходов от реализации готового продукта. Минимальная мощность глинистых сланцев принимается обычно 0,5-1 м, углей для крутопадающих залежей 0,5-0,6 м, для пологих 1-1,5 м, для руд железа 2-4 м.

Максимально допустимая мощность безрудных прослоев, включаемых в подсчет запасов

При добыче не удается полностью отделить пустые породы от полезного ископаемого. Часть их из прослоев, даек и других включений, а также из кровли и подошвы залежи, извлекается из недр вместе с полезным сырьем и разубоживает его. Некоторые безрудные участки внутри залежи включаются в подсчет запасов и оконтуриваются вместе с полезным ископаемым. Если не ограничить мощность таких прослоев, то разубоживание приведет к ущербу, превышающему сумму доходов. Максимально допустимая мощность пустых прослоев при их включении в подсчет запасов и при прочих оптимальных условиях оконтуривания блока приводит к равенству сумм доходов и затрат. В различных условиях максимально допустимые мощности пустых прослоев составляют от 1 до 5 м.

Минимальный метропроцент

Для рудных тел, имеющих мощность менее минимальной выемочной (практически, менее 0,5-0,7 м), но характеризующихся повышенным содержанием полезного компонента (или для особо ценных видов сырья), одним из показателей кондиций служит минимальный метро-процент (метро-грамм, метро-килограмм и т.д.), представляющий собой произведение минимальной мощности на минимальное промышленное содержание полезного компонента. Смысл минимального метропроцента как показателя кондиций заключается в том, что разубоживание должно пропорционально компенсироваться повышенным содержанием полезного компонента или его ценностью, т.е. должны соблюдаться два условия:

$$\overline{cm} > c_{\min} m_{\min}; \quad c > c_{\min}, \quad (3.1)$$

где $\overline{m}$ и $\overline{c}$ – фактические средние мощность и содержание; $c_{\min}$ – минимальное промышленное содержание; $m_{\min}$ – минимальная мощность тел полезного ископаемого.

Минимальный коэффициент рудоносности

Под коэффициентом рудоносности понимают отношение полезной (кондиционной) части ко всему подсчетному блоку. Часто коэффициент рудоносности определяется по выражению

$$K_p = \frac{\sum_{j=1}^l h_j}{(\sum_{j=1}^l h_j + \sum_{i=1}^k h_i)}, \quad (3.2)$$

где h_i – мощность i -го прослоя полезного ископаемого по выработке; h_j – мощность j -го безрудного прослоя по выработке; k – общее число прослоев полезного ископаемого в выборке; l – общее число безрудных прослоев в выборке.

Коэффициент рудоносности используется только на месторождениях со сложным, крайне неравномерным распределением полезного компонента (минерала) при обязательном соблюдении следующих условий:

а) оконтуривание рудных линз, гнезд, карманов и перемежающихся с ними безрудных участков при ведении разведочных работ невозможно или экономически нецелесообразно;

б) при эксплуатации месторождения целесообразно селективное оставление в целиках либо селективное удаление в отвал пустых пород и некондиционных руд.

Минимальные коэффициенты рудоносности для Садонских свинцово-цинковых месторождений составляют 0,4-0,5, а на ртутных месторождениях доходят до 0,1.

Предельная глубина разработки и максимальный коэффициент вскрыши

При подземной разработке месторождения глубина определяется в каждом случае путем прямых технико-экономических расчетов, составляемых по вариантам глубин добычи. При этом учитываются горно-геологические особенности месторождения, потребность в минеральном сырье, степень его дефицитности в данном экономическом районе. В России глубина шахт ныне превышает 1000 м, а на золотых рудниках ЮАР – более 5000 м.

Открытый способ добычи более дешев и более производитель, чем подземный. Глубина карьеров уже превышает 500 м; проектируются карьеры глубиной более 700 м. Фактически коэффициенты вскрыши, определяемые отношением объемов вскрышных пород к извлекаемым запасам полезных ископаемых, достигают $14 \text{ м}^3/\text{т}$.

Открытая добыча экономически оправдана лишь в том случае, если себестоимость добычи 1 т руды и приходящейся на нее пустой породы при этом не выше себестоимости добычи 1 т руды при подземной разработке, т.е. при соблюдении равенства

$$Q_o + Q_v K_v < Q_n, \quad (3.3)$$

где Q_o – себестоимость добычи 1 т руды открытым способом; Q_v – себестоимость добычи 1 м³ вскрышных пород; K_v – коэффициент вскрыши; Q_n – себестоимость добычи 1 т руды подземным способом.

Из этого соотношения можно найти предельное значение коэффициента вскрыши, при котором экономически оправдана открытая разработка

$$K_{\text{впр}} = (Q_{\text{п}} - Q_{\text{о}})/Q_{\text{в}}. \quad (3.4)$$

Минимальные запасы полезного ископаемого

Минимальные запасы полезного ископаемого вводятся в кон-
 дии в редких случаях, когда месторождение представлено ря-
 дом разобщенных рудных тел, разработка которых требует орга-
 низации самостоятельного рудника. В общем случае минимальные
 запасы определяются из расчета окупаемости капиталовложений
 на строительство рудника. Ориентировочно минимальные запасы
 можно определить по выражению

$$P_{\text{min}} = K/(\zeta - Q)K_{\text{п}}, \quad (3.5)$$

где P_{min} – минимальные запасы руды, т; $K_{\text{п}}$ – коэффициент, учиты-
 вающий потери руды при добыче, доли единицы; ζ – ценность из-
 влекаемых компонентов (концентратов) из 1 т руды, руб.; Q – се-
 бестоимость добычи и переработки 1 т руды, руб.; K – капиталов-
 ложение на освоение рудного тела, руб.

3.3. Сложность геологического строения месторождений и степень разведанности

Запасы полезного ископаемого, утвержденные по данным раз-
 ведки, оцениваются не все с одинаковой детальностью и точностью.
 Некоторая часть запасов для обеспечения работы горного предпри-
 ятия на 25-30 лет оценивается по сумме категорий $A + B + C_1$, назы-
 ваемых промышленными. 20-30% запасов промышленных катего-
 рий разведываются более детально и оцениваются по сумме кате-
 горий $A + B$, называемых высшими.

Не на всех месторождениях при любой детальности разведки
 можно получить запасы высших категорий. Все месторождения по
 сложности геологического строения подразделяются на четыре груп-
 пы. К первой группе относятся пластовые или пластообразные тела с
 непрерывным оруденением, выдержанной мощностью и равномер-
 ным распределением компонентов, слабо тектонически нарушенные.

Вторую группу образуют крупные и средние по размерам пла-
 стообразные залежи, штокверки, жилы с неравномерным распре-
 делением оруденения, разбитые на тектонические блоки. В третью
 группу объединяются средние и мелкие тела сложной формы с пре-
 рывистым оруденением, неравномерным и крайне неравномерным
 распределением компонентов. В последние годы выделена и чет-
 вертая группа месторождений, представляющих очень сложные по
 форме и распределению компонентов тела с гнездовым оруденени-
 ем. Количественное соотношение запасов различных категорий

называется степенью разведанности. Для месторождений твердых полезных ископаемых, передаваемых в эксплуатацию, рекомендуются следующие степень разведанности (табл. 3.2) и плотность сети разведки (табл. 3.3).

Таблица 3.2

Степень разведанности месторождений,
передаваемых в эксплуатацию, %

Категории запасов	Группы месторождений металлов и неметаллов				Группы месторождений углей и горючих сланцев		
	1	2	3	4	1	2	3
A + B	30	20	-	-	50	50	-
В т.ч. А не менее	10	-	-	-	20	-	-
C ₁	50	60	70	50	30	30	80
C ₂	20	20	30	50	20	20	20

Таблица 3.3

Плотность разведочной сети при детальной разведке, м

Группа месторождений	Категории запасов		
	A	B	C ₁
1	50-100	100-200	200-400
2	-	50-100	100-200
3	-	-	25-50

3.4. Методы подсчета запасов

Методы подсчета запасов полезных ископаемых довольно разнообразны и более подробно изучаются в дисциплине маркшейдерское дело. При разведке чаще всего используется метод вертикальных разрезов или метод среднего арифметического по геологическим блокам. При проектировании и планировании горных работ и учете движения запасов применяется метод подсчета запасов по эксплуатационным блокам. Более или менее детальное ознакомление с этими методами возможно осуществить только на практических занятиях.

Здесь проводится только сравнение алгоритмов подсчета запасов этими методами.

Подсчет запасов методом разрезов осуществляется в следующей последовательности:

1) определение площадей участков блоков различных категорий, осконтуренных в плоскости разрезов, планиметром или точечной палеткой – S_i , где i – номер участка;

2) определение объемов подсчетных блоков

$$V_j = L(S_1 + S_2)/2, \quad (3.6)$$

где j – номер блока; L – расстояние между разрезами 1 и 2, ограничивающими подсчетный j -й блок; S_1 и S_2 – площади, ограничивающие блок в плоскости разрезов 1 и 2;

3) подсчет средних содержаний полезных компонентов в подсчетных блоках

$$\bar{c} = \sum_{i=1}^n c_i / n \quad (3.7)$$

или
$$\bar{c} = \sum_{i=1}^n c_i l_i / \sum_{i=1}^n l_i, \quad (3.8)$$

где c_i – содержание полезного компонента в i -й пробе; l_i – длина интервала i -й пробы по выработке; n – общее число проб в блоке;

4) определение объемной массы полезного ископаемого γ производится экспериментально или вычисляется в зависимости от среднего содержания железа в блоке;

5) определение запасов руды в j -м блоке

$$q_j = \gamma V_j; \quad (3.9)$$

6) определение запасов металла в j -м блоке

$$\bar{p}_j = 0,01 c_j q_j, \quad (3.10)$$

если среднее содержание выражено в процентах;

7) подсчет суммы запасов по категориям, средних показателей качества по категориям, оформление сводной таблицы запасов руды и металла.

Подсчет запасов методом среднего арифметического производится при оконтуривании залежи на плане в следующем порядке:

1) определение площадей подсчетных блоков – S ;

2) подсчет средних мощностей залежи по блокам

$$\bar{m} = \sum_{i=1}^n m_i / n, \quad (3.11)$$

где m_i – мощность залежи по i -й выработке; n – общее число разведочных выработок в блоке;

3) определение объемов подсчетных блоков

$$\bar{V}_j = \bar{m} S_j; \quad (3.12)$$

- 4) подсчет средних содержаний полезных компонентов по блокам;
- 5) определение объемной массы полезного ископаемого;
- 6) подсчет запасов руды и металла по блокам;
- 7) определение суммарных показателей, составление общей сводки запасов.

Операции 4-7 осуществляются аналогично соответствующим этапам подсчета запасов по методу разрезов.

Подсчет запасов по эксплуатационным блокам, производимый при проектировании и разработке рудных карьеров, осуществляется в такой последовательности:

- 1) определение площадей эксплуатационных блоков;
- 2) подсчет объемов эксплуатационных блоков

$$V_j = S_j H_j, \quad (3.13)$$

где H – высота уступа;

$$H = \sum h_k / N1 - \sum h_n / N2,$$

где h_k и h_n – высоты кровли и подошвы уступа по данным нивелирования; $N1$ и $N2$ – число замеров высот кровли и подошвы уступа;

3) определение процентов выхода промышленных сортов полезного ископаемого по эксплуатационным блокам

$$p_k = \sum l_k / L, \quad (3.14)$$

где k – номер промышленного сорта; l_k – длина рудного интервала k -го сорта в i -й выработке; K – общее число выработок в блоке; L – сумма длин рудных интервалов по всем выработкам в блоке;

4) определение объемов промышленных сортов руды в блоке

$$v_k = 0,01 p_k V_j; \quad (3.15)$$

5) подсчет средних содержаний полезных компонентов для каждого промышленного сорта руды в блоке

$$c_k = \sum c_k l_k / \sum l_k, \quad (3.16)$$

где l_k и c_k – длина интервала k -го сорта руды в i -й выработке и содержание полезного компонента в этом интервале;

6) подсчет запасов каждого сорта руды в эксплуатационных блоках

$$Q_k = \gamma_k v_k; \quad (3.17)$$

7) подсчет суммарного количества и среднего качества руды по промышленным сортам, эксплуатационным горизонтам и в целом по объекту проектирования или планирования добычи.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ КАК ОБЪЕКТОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

4.1. Целевое назначение, виды моделирования

Природные предметы и явления отображаются в сознании человека в виде образов, приближенно отражающих их сущность. Последнее зависит, главным образом, от совершенства методов изучения на современном уровне развития науки и техники. Сущность предметов и явлений, осознанная наукой, может быть представлена различными способами. Эти способы выражения приближенной сущности объективно реальных вещей называются моделями, а их подготовка – моделированием. Известны три вида моделей месторождений полезных ископаемых: графические, цифровые и математические. Графические модели обычно двумерные и представляют собой изображение месторождения в виде продольных и поперечных сечений, проекций, планов в изолиниях и др. Цифровая модель месторождения – это табличные материалы, в основном отражающие исходные данные, промежуточные и конечные результаты подсчета запасов и средних показателей качества по блокам или участкам добычи. Цифровая модель может быть записана в памяти ЭВМ и тогда носит название банка данных. Математическая модель месторождения может быть представлена в виде уравнений и констант, приближенно выражающих закономерности изменения различных характеристик полезного ископаемого в пространстве или статистические характеристики отдельные свойства и признаков и связи между ними.

4.2. Графическое моделирование месторождений

Оно включает геологическую документацию скважин и горных выработок, а также камеральную обработку результатов документации и опробования, т.е. оформление графических материалов: колонок разведочных выработок, альбомов зарисовок забоев, геологических карт, планов, разрезов и других материалов.

Геологическая документация керна колонковых разведочных скважин

Осуществляются первичная документация и послойное описание керна. Первичная документация керна производится ежедневно при бурении скважин. При описании отмечаются начало, конец и длина пробуренного интервала за каждый подъем по этикетке, выход керна (%), делается краткое описание материала керна:

тип руды или породы, их минеральный состав, структура и текстура, глубина литологических контактов и их угол с осью керна, представляется категория буримости интервала.

После окончания бурения скважины производится послойное описание керна. Это углубленное петрографическое описание интервалов, представленных различными типами и разновидностями пород и руд. Описание сопровождается отбором образцов и микрообразцов для изготовления шлифов и аншлифов. Тогда же намечаются интервалы опробования керна.

Колонка скважины (рис. 4.1) представляет собой основной документ, отражающий результаты ее бурения, документации и опробования. В нее заносится сокращенное петрографическое описание и помещается литологическая колонка, составленная в штриховых условных обозначениях. Даются сведения о выходе керна, замерах глубины и угла наклона скважины. Приводятся результаты химических, спектральных и других анализов.

X - 5974,24

Y - 7388,37

Z - 242,150

Угол наклона 84°

Азимут наклона 286°

Геологическая колонка

скважины № 232

Масштаб 1:200

Начата 12.01.91г.

Окончена 3.03.91г.

Глубина скважины 142,11м

Интервал, м		Мощность, м	Выход керна, %	Угол наклона	Азимут наклона	Колонка	Описание керна	№/№ проб	Интервал, м		Мощность, м	Содержание, %		
									от	до		W	Mo	Si
0,0	2,52	2,52	100	84°	286°	+ + + + +	Гранит биотитовый мелкозернистый							
2,52	4,64	2,12	94			○ ○ ○ ○	Скарн с шеелитом и молибденитом	39	2,52	4,64	2,12	3,12	1,67	0,24

Рис. 4.1. Геологическая колонка разведочной скважины

Геологическая документация горных выработок

Геологическая документация горных выработок является главной и начальной составляющей полевых работ геолога участка. Основная цель документации – изучение месторождения полезного ископаемого для получения о нем всесторонней информации и, в первую очередь, о морфологии и внутреннем строении рудных залежей. При документации участковый геолог производит непосред-

ственные визуальные наблюдения в забое, оформляет их в виде зарисовок и записей, при необходимости отбирает эталонные образцы и образцы для изучения с целью углубления своих наблюдений.

В зависимости от поставленных целей, характера месторождения, системы разработки и других факторов, могут применяться (как самостоятельно, так и в их рациональном сочетании) следующие способы геологической документации:

- массовая – схематизированные зарисовки и описание изучаемого объекта;

- детальная и специализированная;

- структурно-геологическое картирование (СГК);

- фотодокументация.

Оформление документации осуществляется в два этапа:

- 1) в забое производятся зарисовка и описание в черновом журнале;

- 2) в камеральных условиях зарисовки и описания заносятся в альбом, получают номер, привязку, отобранные образцы каталогизируются.

Массовой геологической документации подвергаются все доступные для наблюдений горные выработки и очистные забои. Масштаб зарисовок обычно 1:500, реже – крупнее. На зарисовку наносятся контакты различных горных пород, типов и сортов полезного ископаемого. Сами породы и руды изображаются в условных знаках (рис. 4.2-4.4).

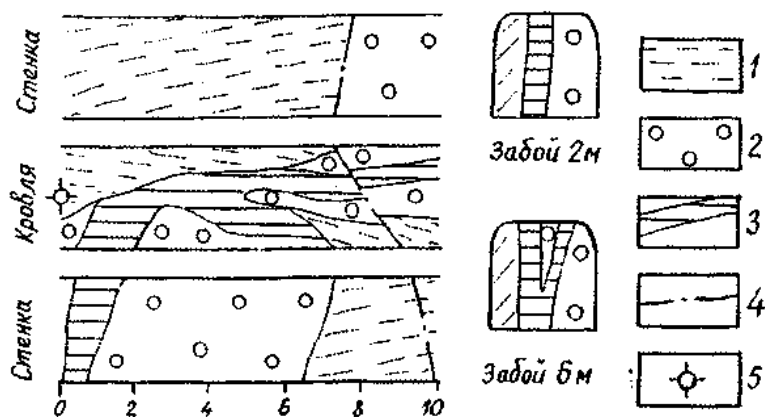


Рис. 4.2. Зарисовка штрека: 1 – алевролит; 2 – метасоматиты с сульфидами; 3 – сульфидно-кварцевые жилы; 4 – дизъюнктивные нарушения; 5 – маркшейдерские точки

Фиксируются также дизъюнктивные нарушения, зоны разломов, трещины, жилы. При необходимости изображаются вторичные изменения и другие особенности геологического строения. На зарисовку наносятся места отбора образцов, проб. Описание делается в случае, если на зарисовке в условных знаках не удастся отобразить результаты наблюдений или необходимо что-то подчеркнуть, сосредоточить на чем-то внимание, например, на интенсивной тектонической нарушенности, слабой устойчивости пород и руд в забое.

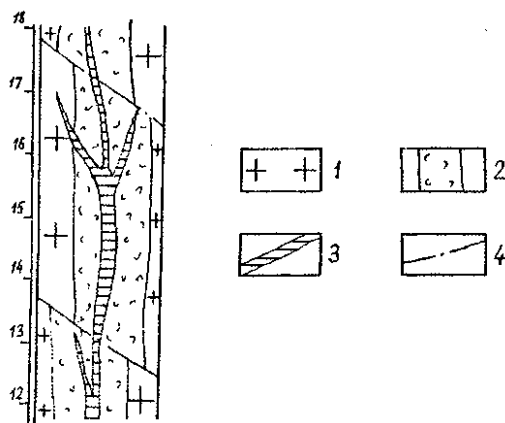


Рис. 4.3. Зарисовка стенки восстающего: 1 – плагиогранит; 2 – 4 «табашки»; 3 – золотоносная кварцевая жила; 4 – дизъюнктивные нарушения

Геологическая документация производится после зачистки забоя от взорванной массы по мере его продвижения одновременно или после маркшейдерской съемки. В канавах зарисовывается обычно одна из стенок, в шурфах – все стенки и забой. В горных выработках, пройденных по простиранию рудных тел (штреки, штольни), непрерывно документируются стенки и кровля, а забои – дискретно. При пологом залегании руд и пород документируется одна из стенок, при крутом падении также и кровля (см. рис. 4.2). Инструментальная привязка зарисовки в полевых штреках делается через 20-25 м, а в рудных – через 5-10 м. Горные выработки, пройденные вкрест простирания рудных тел: квершлагги, орты, рассечки подвергаются сплошной (непрерывной) документации. В зависимости от необходимости изображения тех или иных особенностей геологического строения зарисовываются стенки и кровля. Пробы отбираются обычно в одной из стенок. В восстающих, гезенках и уклонах зарисовывается одна из стенок и забой. Зарисовка «привязывается» к маркшейдерским точкам. В карьерах непрерывной

документации подвергаются все забои (рис. 4.4). «Привязка» делается к буровзрывным скважинам, столбам контактной сети или специально выставляемым маркшейдерским точкам (кольям).

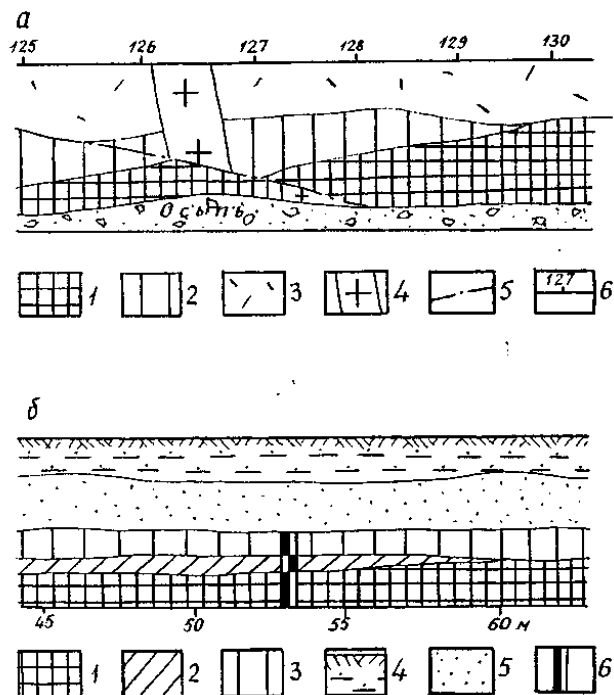


Рис. 4.4. Геологические зарисовки забоев: а – в карьере горы Магнитной:
 1 – богатая магнетитовая руда ($Fe > 46\%$); 2 – убогая магнетитовая руда ($Fe\ 20-30\%$);
 3 – липаритовый порфир; 4 – дайка кварцевого кератофира; 5 – дизъюнктивное
 нарушение; 6 – устье буровзрывной скважины; б – на Бускульском карьере огнеупорных глин:
 1 – глина 1 сорта; 2 – глина 2 сорта; 3 – глина 3 сорта; 4 – почвенный слой и суглинки;
 5 – песок крупнозернистый; 6 – места отбора бороздовых проб

Камеральная обработка полевой документации

Графическое моделирование месторождений является главной формой камеральной обработки полевых наблюдений и результатов опробования разведочных и эксплуатационных скважин, горных выработок. Начальным вариантом графической модели месторождения служат графические приложения к отчету о детальной разведке. Они включают следующие материалы:

– геологическую карту месторождения масштаба от 1:500 до 1:10000 (чаще 1:2000);

- геологические разрезы, поперечные и продольные;
- погоризонтные геологические планы;
- планы морфологии рудных тел: изомощностей, подошвы, кровли и т.п.;
- проекции рудных залежей на вертикальную или наклонную плоскость в зависимости от угла падения;
- колонки разведочных скважин и горных выработок.

Геологическая карта месторождения представляет собой план поверхности, выходящей под современные рыхлые отложения. На ней изображаются стратиграфические, тектонические и литологические контакты, а также слагающие месторождение осадочные, вулканогенные и метаморфические горные породы, интрузивные тела. Проставляются знаки, показывающие элементы залегания пород и ориентировки дизъюнктивных нарушений. Изображения тел полезных ископаемых могут отсутствовать, если они не выходят на поверхность. Показываются устья разведочных скважин, шурфов, шахт, разведочные канавы и номера выработок. Стратиграфическая колонка приводится на отдельном листе или в тексте пояснительной записки. Условные обозначения чаще также помещаются на отдельном листе. Стандарт на условные обозначения для пород и руд существует только для горных чертежей, но не согласуется с условными знаками тех же объектов на чертежах из отчетов о разведке. Независимо от этого существуют международные условные обозначения стратиграфических подразделений и интрузивных комплексов. Литология часто обозначается штриховыми знаками.

Геологические планы и разрезы оформляются в тех же условных знаках, что и геологическая карта месторождения, но масштаб может быть крупнее. Они несут информацию о геологическом строении подземных частей месторождения на глубину его разведанности. Разведочные выработки, если они пересекают план или профиль, наносятся в виде точек или кружков, а если они совпадают с плоскостью плана или разреза, то изображаются их колонки со штриховыми обозначениями пород и промышленных типов полезного ископаемого. На геологических разрезах в качестве спецификации даются результаты опробования полезного ископаемого по разведочным выработкам. Главным элементом содержания геологических планов и разрезов является линия контура рудных тел. Внутри этого контура обозначаются номера и категории подсчетных блоков. Часто элементы подсчета запасов изображаются на специальных подсчетных планах и разрезах.

Геологические разрезы (рис. 4.5) оформляются обычно в масштабе 1:500 или 1:1000.

На планшет наносятся координатная сеть, профиль поверхности, все разведочные выработки в виде колонок с условной штриховкой, изображающей типы горных пород и полезных ископаемых, границы рудных тел и проектные контуры отработки месторождения. При пополнении геологических разрезов на них наносят все горные выработки, все скважины, пробуренные при доразведке и эксплуатационной разведке, попадающие в сечение разреза или примыкающие к разрезу, с результатами их геологической документации и опробования. При открытых горных работах в отработанной части наносятся также буровзрывные скважины. Геологические разрезы в отработанной части подробным образом отстраиваются для детальной экстраполяции рудных тел и элементов структуры месторождения в неотработанную часть. При этом участки, представленные различными типами руд и пород, обычно раскрашиваются. В неотработанной части на разрез наносятся карандашом исправленные границы рудных тел, дизъюнктивные нарушения и другие ведущие элементы структуры месторождения.

Принцип оформления погоризонтных планов тот же, что и геологических разрезов (рис. 4.6). За основу принимаются разведочные выработки и контуры рудных тел. При пополнении наносятся забои эксплуатационных горных выработок и скважины с данными геологической документации и опробования. С учетом новых данных планы корректируются. Типы пород и руд закрашиваются условными цветами. Геологические планы и разрезы тщательно взаимно увязываются.

Поскольку геологические разрезы и планы всегда сильно загружены фактическим материалом, для промышленного прогноза создаются промышленные слоевые планы. На них изображаются рудные тела и их элементарные участки (блоки), представленные различными промышленными сортами минерального сырья.

При текущем планировании добычи составляют паспорта взрываемых блоков, где одним из чертежей является план (рис. 4.7, 4.8) или диспозиция – вертикальная проекция взрыва. На план взрыва наносится «промышленная геология» по результатам опробования буровзрывных скважин. Это обычно элементарные участки (блоки), где известны расчетные (плановые) значения показателей количества и качества. Элементарным участком взрыва при подземных горных работах является камера или «вер» (рис. 4.9) буровзрывных скважин, где по результатам их опробования оконтуривается полезное ископаемое и подсчитываются значения плановых показателей количества и качества.

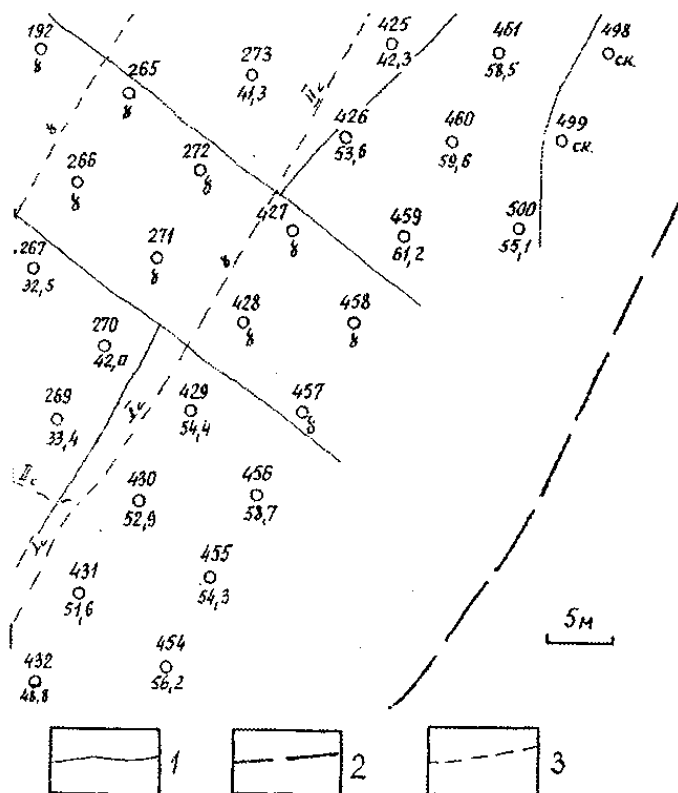


Рис. 4.6. Выкопировка из геологического погоризонтного плана: 1 – литологические контакты; 2 – граница рудного тела по данным разведки; 3 – границы взрывных блоков; I – богатые мартитовые руды; III – валунчатые руды; I_c – богатые магнетитовые руды; M_c – бедные магнетитовые руды; цифрами обозначены номера буровзрывных скважин на плане и содержание в них железа, %

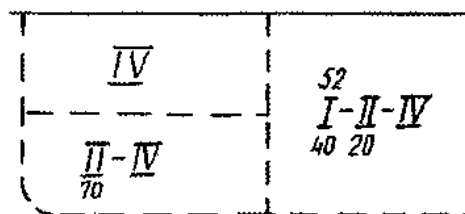


Рис. 4.7. Выкопировка из плана взрываемого блока железной руды: I-II-IV – богатой руды с содержанием Fe 52% в блоке 40%, бедной руды 20%, породы 40%

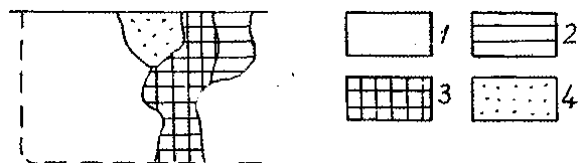


Рис. 4.8. Выкопировка из плана взрываемого блока известняка:
1, 2, 3 – известняк соответственно флюсовый, магнезиальный,
доломитизированный; 4 – рыхлые отложения карста

Условные обозначения для изображения горных и разведочных выработок, типов руд и пород определяются стандартом (ГОСТ 2857-75). В этом источнике, однако, приводится лишь весьма незначительное число условных знаков для полезных ископаемых и далеко не всех типов горных пород. Условные знаки по ГОСТ 2857-75, касающиеся геологии, не увязаны с применяющимися на региональных геологических картах, разрезах и стратиграфических колонках и с едиными условными обозначениями для маркшейдерских планов и геологических разрезов, использующимися на горных предприятиях с 1957 года. Кроме того, штриховые и индексные обозначения стандарта весьма громоздки и не могут располагаться на загруженных до предела фактическим материалом (данными геологической документации и опробования) "рабочих" геологических планах и разрезах. Применяются они, в основном, на демонстрационных чертежах к дипломным проектам, докладам, научным статьям и монографиям. Работники геологических служб, по возможности придерживаясь стандарта, вынуждены применять и местные условные обозначения, окраску и индексы при оформлении графических материалов.

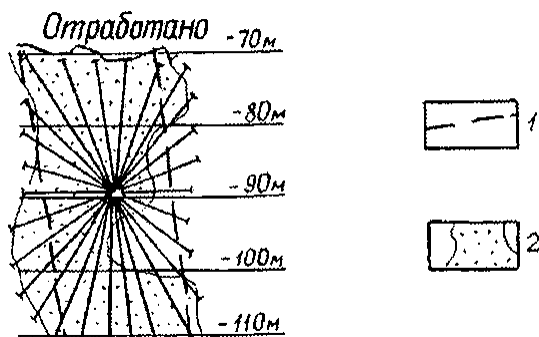


Рис. 4.9. Разрез по «вееру» буровзрывных скважин: 1 – граница рудного тела
по данным разведки; 2 – рудное тело по данным магнитного карротажа

4.3. Цифровая модель месторождения

Эта модель является фактически множеством, а точнее многоуровневой системой цифровых данных о количестве и качестве полезного ископаемого в любой точке с известными координатами пространства, в блоке, слое, залежи или в целом по месторождению. Эта система или ее элементы представлены в отчетах о разведке, в журналах опробования, учета движения запасов на горном предприятии, информационных и отчетных материалах рудника. В литературе по горнопромышленной геологии [10, 11] описана только цифровая модель качественного состояния, образующая банк данных в памяти ЭВМ. Она выражается «множеством вектор-столбцов показателей качества» и имеет вид:

$$\overset{-V_0}{C}(v, \mu) = \{\overset{V_0}{C}_{1\lambda}(v, \mu), \overset{V_0}{C}_{2\lambda}(v, \mu), \dots, \overset{V_0}{C}_{v, \mu\lambda}(v, \mu) \mid \lambda = 1, 2, \dots, n, K, \quad (4.1)$$

где $C_k(v, \mu)$ – вектор-столбец показателей качества в точке с координатами X_k, Y_k, Z_k , характеризующий объем V_0 v -го геолого-промышленного и μ -го горно-технологического объектов; $1 \leq K \leq n_{v, \mu}$; λ – номер показателей качества; $C_{1\lambda}, C_{2\lambda}, \dots, C_{n\lambda}$ – отдельные показатели качества в точке k .

Иначе говоря, банк данных – это журнал опробования горных выработок и скважин с указанием координат пространства для каждой пробы, зафиксированный в памяти ЭВМ. Эта форма записи является оптимальной для оперативного пополнения банка данных и использования его целиком или частями при планировании горных работ, учете движения запасов или других целей.

4.4. Математические модели для обработки цифровых данных

В нашем пособии рассматриваются модели распределения показателей качества. Исходные данные представляют собой цифровую матрицу – множество чисел, результатов наблюдений, замеров или испытаний проб. Для простоты рассматриваются регулярные множества (равные расстояния между пробами). Значение имеет лишь порядковое расположение отдельных результатов наблюдений. Однако распределение может рассматриваться без учета пространственного расположения отдельных проб (СТАТИСТИЧЕСКОЕ) и с учетом (ПРОСТРАНСТВЕННОЕ).

4.4.1. Модели статистического распределения

Среднее значение

Определенного понятия «среднее значение» не существует. Существуют различные выражения для вычисления среднего. Наиболее часто применяются среднее арифметическое

$$\bar{c} = \sum_{i=1}^n c_i / n \quad (4.2)$$

и среднее взвешенное

$$\bar{c} = \sum_{i=1}^n c_i l_i / \sum_{i=1}^n l_i, \quad (4.3)$$

где c_i – значение показателя в точке i ; l_i – масса i -й пробы или интервал опробования.

Оценка дисперсии σ^2 , стандарт σ и коэффициент вариации V . Эти параметры оценивают диапазон колебаний значений множества, но не предельный, а усредненный.

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2 / (n - 1). \quad (4.4)$$

$$\bar{V} = \sigma / \bar{c}. \quad (4.5)$$

Плотность вероятностей. Эта модель более наглядно характеризует статистику распределения множества чисел. Она выражается графически в виде гистограммы или сплавленной кривой (рис. 4.10).

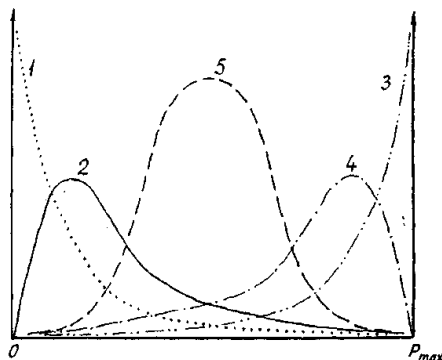


Рис. 4.10. Пять основных видов распределения компонентов в рудах:

- 1 – гиперболоподобное левоасимметричное; 2 – нормально логарифмическое левоасимметричное; 3 – гиперболоподобное правоасимметричное; 4 – нормально логарифмическое правоасимметричное; 5 – симметричное (кривая Гаусса)

Медиана – это значение показателя c_i , при котором все множество разбивается на две равновероятные половины по количеству проб $0,5n$ с увеличением значения c_i . Для нахождения медианы нужно сначала все множество расположить по мере возрастания значения c_i до числа проб, равного $0,5n$, и принять

$$Me = c_i \text{ при } i = 0,5 \cdot n. \quad (4.6)$$

Мода – это значение показателя в точке максимума кривой плотности вероятностей. Бывают распределения с одним и более модальными значениями. Приближенно значение моды для симметричных одномодальных кривых

$$Mo = 3 \cdot \bar{c} + 2 \cdot c. \quad (4.7)$$

Асимметрия

Значение асимметрии плотности вероятностей определяется по выражению

$$A = \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^3 / (\sigma^2 \cdot n)^{3/2}. \quad (4.8)$$

На рис. 4.10 показаны: симметричный график (5), правоасимметричные (3 и 4) и левоасимметричные (1 и 2). Значения асимметрии: $A(5) = 0$, $A(1, 2) < 0$, $A(3, 4) > 0$.

Экссесс определяется по выражению

$$E = \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^4 / (\sigma^2 \cdot n) - 3. \quad (4.9)$$

4.4.2. Характеристики пространственного распределения переменных

Они представлены двумя моделями:

- автокорреляционная функция $K(h)$ и вариограмма $\gamma(h)$;
- геометро-статистическая модель со сглаживанием П.Л. Каллистова и В.Ф. Мягова.

Автокорреляционная функция множества чисел, расположенного вдоль вектора X , вычисляется по формуле

$$K(h) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(c_i - \bar{c})(c_{i+h} - \bar{c})], \text{ где } h = 1, 2, 3, \quad (4.10)$$

Сопутствующие характеристики:

- нормированная корреляционная функция $r(h) = K(h) / \sigma^2$;
- некоррелированная дисперсия $\sigma_h^2 = \sigma^2 [1 - r^2(h)]$;

- коррелированная дисперсия $\sigma_k^2 = \sigma^2 \cdot r^2(h)$;
- радиус автокорреляции $R = h_{\min.}$ при $r(h) = 0$.

Если $h < R$, значения показателя c_i являются зависимыми случайными величинами, при $h > R$ члены множества – независимые случайные величины и при их моделировании можно использовать статистическую модель.

Автокорреляционная функция может быть выражена графиком (рис. 4.11), где первая точка пересечения его с осью абсцисс соответствует значению радиуса R . Обычно шаг корреляции h принимается равным плотности опробования вдоль оси X и может быть выражен в метрах.

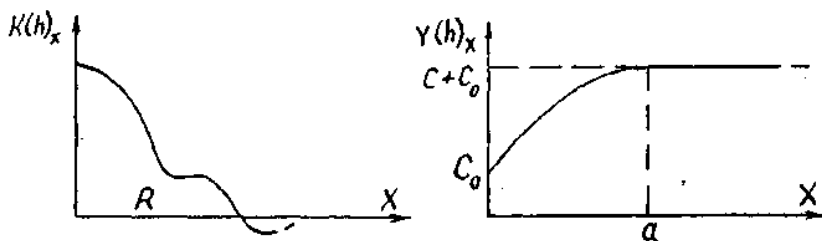


Рис. 4.11. Автокорреляционная функция $K(h)_x$ и вариограмма $y(h)_x$:
 R – радиус автокорреляции; C_0 – эффект «самородков»; $C + C_0$ – порог вариограммы;
 a – радиус влияния пробы

Вариограмма $y(h)$ вычисляется по формуле

$$y(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (c_i - c_{i+h})^2. \quad (4.11)$$

На графике (см. рис. 4.11) видно, что при экстраполяции вариограммы в точку, соответствующую $i = 0$, значение $y(h)$ может отличаться от нуля. Это значение вариограммы носит название «эффекта самородков» C_0 . Эффект самородков соответствует «локальной неоднородности массива», т.е. неоднородности смежных участков. Значение вариограммы возрастает до значения абсциссы a – зоны влияния. Практически это то же, что и радиус автокорреляции R . При $h > a$ возрастание вариограммы прекращается. Значение вариограммы в точке абсциссы a приравняется к выражению $C + C_0$ и называется порогом вариограммы. Теоретически оно соответствует дисперсии при случайном распределении показателя в пространстве. При наличии закономерной составляющей распределения показателя в пространстве разность значений $c_i - c_{i+h}$ с увеличением h возрастает, а вариограмма принимает форму степенной функции $f(x) = ax^2 + C$. Различие форм варио-

грамм в различных направлениях $\gamma(h)_x$, $\gamma(h)_y$ и $\gamma(h)_z$ говорит об анизотропии пространственного распределения показателя.

Наглядной формой выражения распределения переменной в пространстве служит ГЕОМЕТРО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ модель П.Л. Каллистова и В.Ф. Мягкова. В нашей интерпретации она принимает следующую форму:

1. Чертится график фактических значений качества вдоль оси X: $u(x) = c_i$.

2. Производится сглаживание графика по формуле

$$c_{i(q=1)} = 0,25(c_{i-1} + 2c_i + c_{i+1}), \quad (4.12)$$

где q – номер уровня сглаживания.

Точки $c_{i(q=1)}$ соединяются плавной кривой.

3. Соединяются прямыми отрезками точки ближайших положительных и отрицательных экстремальных точек (перегибов) полученной кривой и им присваиваются значения $c_{k(q=1)}$.

4. Производится сглаживание полученного графика по формуле

$$c_{k(q=2)} = 0,25[c_{k-1(q=1)} + 2c_{k(q=1)} + c_{k+1(q=1)}]. \quad (4.13)$$

5. Соединяются плавной кривой точки $c_{k(q=2)}$ и получается график второго уровня сглаживания и т.д.

6. Радиус автокорреляции каждого уровня сглаживания R_q принимается равным четверти средней длины волны графика закономерной составляющей (тренда).

Можно вычислить усредненное значение случайной составляющей первого сглаживания

$$\delta_{q=1} = \frac{1}{n-2} \sum_{i=2}^{n-1} |c_{i(q=0)} - c_{i(q=1)}|. \quad (4.14)$$

4.5. О погрешностях определения среднего значения

Поскольку исходные данные для вычисления среднего значения являют собой множество дискретных величин, то выражение математического ожидания имеет вид среднего взвешенного из N наблюдений

$$M_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i c_i, \quad (4.15)$$

где p_i – вероятность i -го наблюдения. При абсолютно точном определении параметра p мы имеем равенство $Z = M_0$, где Z – истинное среднее значение показателя.

Погрешность Δ определения вероятности p_i или весового коэффициента пробы приводит к смещению значения среднего относительно Z . Достоверность определения весового коэффициента зависит, в частности, от взаимного пространственного положения (координат) точек наблюдения и, во-вторых, от особенностей распределения в пространстве самого изучаемого показателя. В связи с этим среднее значение носит не чисто статистический характер, но и является функцией показателей пространственного распределения. В практике определения весовых коэффициентов проб наибольшую популярность имеет Крайгинг, изучение которого производится по отдельному пособию.

Во многих случаях при определении среднего значения используют простое выражение среднего арифметического, когда вероятности p_i принимаются равными для всех проб. Целесообразность применения этого выражения устанавливается часто эмпирически и при условии симметричности графика плотности вероятностей.

Причиной смещения значения с относительно Z является не только погрешность вычисления весовых коэффициентов проб, но и асимметрия функции плотности вероятностей. При неограниченном числе наблюдений N любая асимметрия не вызывает смещения значения среднего. Но при малом количестве проб n асимметричные области поля вероятностей могут выпадать из множества, что вызывает смещение среднего значения в направлении моды M_0 и появляется вероятная систематическая погрешность определения среднего значения $\Delta_{с.в.с.}$, максимальное значение которой для одномодальных распределений равно разности модального и среднего значений показателя. Для правосимметричных распределений $\Delta_{с.в.с.}$ имеет отрицательное значение, а для левосимметричных – положительное. В связи с этим существуют выражения для определения среднего: степенного, логарифмического, геометрического и др., которые учитывают различный характер асимметрии функции плотности вероятностей.

Практика опробования говорит о том, что асимметрия и значения дисперсии и стандарта возрастают с уменьшением линейных размеров (объема, массы) проб. Максимальные их значения получаются при малогабаритном штучном опробовании, а минимальные – при валовом опробовании крупных блоков. Результаты валового и фабричного опробований поэтому часто принимаются за эталон, где разность $s - Z$ минимальна.

При интерпретации данных малогабаритного опробования можно получить ошибочные данные о выходе промышленных сортов руды. Так, при опробовании железорудного месторождения по

керну разведочных скважин и по эксплуатационным блокам [9] получаются значительные расхождения выхода сортов руд (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Запасы руд трех сортов, определенные
с учетом содержания металла в пробах и блоках

Сорт руды	Запасы, млн т	
	По блокам	По кернам пробам
Забалансовые	6,7	19,5
Бедные	90,0	67,7
Богатые	2,3	12,8
Сумма	100,0	100,0

Увеличение числа наблюдений (проб) в общем случае уменьшает случайную погрешность определения среднего показателя, выражаемую дисперсией или стандартным отклонением. Для симметричного распределения

$$\delta = (\sigma^2 / n)^{0,5}.$$

5. РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. ХАРАКТЕРИСТИКА ОТДЕЛЬНЫХ ЭТАПОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Геологическое изучение недр включает множество средств и методов, а в зависимости от их цели подразделяется на несколько последовательных этапов и стадий. Горным инженерам необходимо представлять себе последовательность и содержание этих работ. Мы рассматриваем основную цель, задачи, средства и методы и результаты каждой стадии геологических исследований недр.

Во второй половине XX века сложилась оптимальная система последовательных действий геологов при изучении проявлений и месторождений полезных ископаемых, их поисков и разведки. На рубеже веков XX и XXI эта система претерпела некоторые изменения, не внесшие в нее существенных качественных изменений, но несколько поколебавшие ее основы.

Как видно из табл. 5.1 и 5.2, авторы новых документов, касающихся разведки месторождений, и других, характеризующих учет запасов [33, 34], вообще не берут во внимание разведочные работы, осуществляющиеся на действующих горных предприятиях, хотя последние в 2-4 раза превышают по объему все предыдущие геологоразведочные работы. Учитывая вышесказанное, автор излагает материал в прежней редакции.

Таблица 5.1

Взаимосвязь между этапами и стадиями геологических работ
и изучаемыми (выявляемыми) категориями ресурсов
и запасов твердых полезных ископаемых

Этапы и стадии работ	Объект изучения		Выявленный объект	
	Геологический ранг	Категория ресурсов и запасов	Геологический ранг	Категория ресурсов и запасов
Этап 1. Работа общегеологического назначения Ст. 1. Региональное геологическое изучение недр	Минерагенические зоны, районы	P_3	Рудное поле	$P_3 + P_2$
Этап. 2. Поиски и оценка месторождений Ст. 2. Поисковые работы Ст. 3. Оценка месторождений	Рудное поле	$P_3 + P_2$	Проявление полезных ископаемых Потенциальное месторождение	$P_2 + P_1$
	Проявление полезных ископаемых	$P_2 + P_1$		$P_1 + C_2$
Этап. 3. Разведка и освоение месторождений Ст. 4. Разведка месторождений Ст. 5. Эксплуатационная разведка	Потенциальное месторождение	$P_1 + C_2$	Промышленное месторождение	$C_2 + C_1$
	Промышленное месторождение	$C_2 + C_1$	Месторождение, готовое к освоению	$C_1 + B + A$
Этап 4. НЕТ (см. табл. 5.2)	Промышленное месторождение Месторождение, готовое к освоению	$C_2 + C_1 \rightarrow B + A$ $C_1 + B + A$	Месторождение, готовое к освоению Участки, планируемые к добыче	$C_1 + B + A$ $C_1 + B + A$

Таблица 5.2

**Взаимосвязь между этапами и стадиями геологических работ
и изучаемыми (выявляемыми) категориями ресурсов
и запасов твердых полезных ископаемых**

Этапы и стадии геологических работ (прежние названия)	Основная цель	З а д а ч и	Итоговые материалы
Геологическая съемка и картирование мелких масштабов	Обнаружение рудных полей	Комплексная геологическая съемка мелких масштабов	Геологический от- чет и карты масштабов 1:1000000 до 1:50000
Поиски рудных полей и месторождений	Открытие проявлений полезных ископаемых	Комплексная геологическая и геофизическая съемка средних масштабов, структурное бурение и определение перспектив дальнейшего изучения	Карты масштабов 1:200000-1:50000
Поисково-оценочные работы	Определение промышленной ценности объекта		Карты масштабов 1:50000 – 1:10000, ТЭО на освоение
Предварительная разведка	Определение возможности промышленного освоения	Разведка редкой сетью выработок, подсчет запасов низших категорий	Геологический отчет, ТЭО на освоение месторождения
Детальная разведка	Подготовка материалов для проектирования горного предприятия	Разведка плотной сетью выработок подсчет запасов промышленных категорий	Геологический отчет, протокол утверждения запасов Гос. экспертной комиссией
Этап. 4. Разведка при эксплуатации месторождения: доразведка	Продление срока работы предприятия	Перевод запасов из низших категорий в высшие	Те же материалы, что и при детальной разведке.
эксплуатационная (промышленная) разведка	Подготовка материалов для планирования горных работ	Детализация и уточнение параметров количества и качества на участках добычи	Геологический отчет с внесением уточнений в графические материалы и банк данных

5.1. Геологическая съемка и поиски

Геологическому изучению региона (Региональное геологическое изучение недр) предшествуют топографическая съемка и оформление топографического плана или карты. Целью и результатом мелкомасштабных геологических съемок масштаба от 1:1000000 до 1:100000 является оформление геологической карты региона. Естественно, что вместе с этим может совершиться открытие рудных полей и даже отдельных рудопоявлений и месторождений. Неотъемлемой и основной частью этой стадии геологических исследований является маршрутная геологическая съемка с описанием и координатной привязкой обнажений горных пород, с отбором и последующим лабораторным изучением образцов, с измерением на обнажениях элементов залегания и трещиноватости. В настоящее время структурная геологическая съемка включает целый комплекс геофизических, геохимических и аэрокосмических методов геокартирования, позволяющих изучить состав и свойства земной коры на значительные глубины и с высокой достоверностью. В частности, применение геофизики позволило открыть Кустанайское железорудное поле и нефтегазовые поля севера Западной Сибири. В наши дни геологической съемкой мелких масштабов покрыта вся территория суши.

Поисковые работы выполняются на перспективных площадях, где имеются благоприятные предпосылки открытия месторождений полезных ископаемых, чаще всего уже в пределах известных рудных полей. В наши дни поиски часто преследуют цель открытия глубокозалегающих залежей полезных ископаемых в регионах, где уже разведаны или эксплуатируются полезные ископаемые, выходящие на поверхность. Типовая методика поисковых работ на поверхности Земли имеет в основе геологическую маршрутную съемку среднего масштаба 1:50000 или 1:25000. Неотъемлемой ее частью является комплекс геофизических и геохимических методов геокартирования, позволяющих обнаружить различные аномальные зоны или благоприятные геологические структуры, которые могут служить предпосылками для обнаружения полезных ископаемых. К примеру, это могут быть магнитные аномалии, свидетельствующие о повышенном содержании в горных породах магнитных минералов. Геохимический «след» могут оставить многие цветные, редкие и радиоактивные элементы. Для изучения геологической структуры района на опорных профилях кое-где бурятся глубокие структурные скважины (сотни метров). Для интерпретации природы отдельных крупных аномалий бурят более мелкие картировочные скважины или проходят неглубокие горные выра-

ботки. В последние десятилетия возрастает роль глубокого структурного бурения при поисках.

Поисково-оценочные работы (оценка месторождения) производятся с целью открытия и перспективной оценки рудопроявлений и месторождений в пределах уже известных и «опоискованных» рудных полей. При этом ставится задача интерпретации всех аномалий и благоприятных в геоструктурном отношении зон.

Здесь широко применяется картировочное и глубокое структурное бурение. На стадии поисково-оценочных работ производятся геологическая и структурная съемки крупных масштабов от 1:25000 до 1:5000 и оформляются геологические планы и карты района в этих масштабах. Как правило, большая часть аномалий при оценке оказываются безрудными. Открытые месторождения и рудопроявления подвергаются изучению по совокупности результатов буровых, геофизических и опробовательских работ. Оцениваются перспективные ресурсы каждого обнаруженного месторождения и рудопроявления, вещественный состав полезного ископаемого, ориентировочные размеры и наиболее вероятная форма залежей, элементы их залегания.

Геологическая съемка и поиски проводятся специальными поисково-съемочными партиями или поисковыми отрядами разведочных партий. Обычно эти работы финансируются из государственного (федерального) бюджета.

Во Временном положении о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (М.:ВИЭМС, 1998) рекомендуется по завершении оценочных работ (еще до начала разведки) решение вопроса о промышленном освоении месторождения и оформление ТЭО на освоение. Это сделать невозможно, так как без проведения системных геологоразведочных работ предварительной стадии подсчет запасов и геолого-экономическая оценка месторождения проведены быть не могут.

5.2. Предварительная разведка

Целью предварительной разведки является решение вопроса о целесообразности освоения (отработки запасов) месторождения. Следовательно, главная задача этого этапа – предварительная оценка запасов и качества полезного ископаемого.

Разведка осуществляется геологоразведочными партиями на средства государственного бюджета, но может финансироваться предпринимателями и промышленными предприятиями. При этом на месторождении бурятся по редкой сети колонковые скважины и проходятся горные разведочные выработки. Производятся геологическая съемка поверхности и составление геологической карты в

масштабе 1:2000, 1:5000 или 1:10000. Для этой цели может проходить значительное количество картировочных горных выработок и скважин. Выполняются также большие объемы опробовательских и геофизических работ. Последние играют особенно важную роль при определении формы, размеров и элементов залегания тел полезного ископаемого в условиях относительно редкой сети разведочных выработок. Производятся технологические испытания и определение физико-механических свойств пород и руд в лаборатории.

По результатам предварительной разведки составляется отчет и производится подсчет запасов полезного ископаемого на основе временных кондиций. Запасы квалифицируются по низшим категориям C_1 и C_2 . Экспертиза и утверждение результатов предварительной разведки осуществляются в территориальном геологическом комитете или управлении при участии заказчика или представителей предприятий, использующих данный вид минерального сырья. При этом обычно рассматривается и технико-экономическое обоснование (ТЭО) отработки разведанных запасов. В случае положительного решения технический совет рекомендует продолжение разведочных работ и составление проекта детальной разведки. В противном случае все работы на месторождении прекращаются (консервируются).

Стадия предварительной разведки играет исключительную роль в вопросе принятия решения о целесообразности продолжения разведки. На более ранних стадиях геологических работ без подсчета запасов и геолого-экономической оценки месторождения принять это решение невозможно. В случае нецелесообразности по экономическим причинам промышленного освоения месторождения принятие решения на этой стадии дает возможность сохранить большие денежные ресурсы, а более позднее осознание нецелесообразности разработки месторождения приводит к неоправданно большим бесцельным затратам.

5.3. Детальная разведка

Главной целью детальной разведки является подготовка материалов для проектирования промышленной разработки запасов полезного ископаемого. Поэтому в задачи этого этапа работ входит, прежде всего, детальное изучение всех горно-геологических параметров месторождения для его отдельных участков и залежей. Эти характеристики включают форму, размеры и внутреннее строение рудных тел, количество и качество полезного ископаемого в природном массиве, подразделение его на промышленные

типы и сорта и закономерности их локализации на месторождении, технологические свойства.

Разведочные работы проводятся обычно той же организацией и финансируются из того же источника, что и предварительная разведка. Месторождение разведывается колонковыми скважинами и горными выработками, проходимыми по плотной сети. Геологическая карта, разрезы и погоризонтные планы оформляются обычно в масштабе 1:1000 или 1:2000. По результатам разведки оформляется отчет с подсчетом запасов полезного ископаемого на основе постоянных кондиций. Эти материалы проходят экспертизу в Государственной экспертной комиссии (кроме запасов сырья местного значения), а запасы утверждаются протоколом заседания этой комиссии. Они квалифицируются по высшим категориям А и В и по низшим C_1 и C_2 . Отчет о детальной разведке и протокол утверждения запасов ГЭК представляют собой исходный материал для проектирования горного предприятия. Содержание этих материалов дается в главе «Геологическое обеспечение проектирования горных работ».

5.4. Доразведка

Главная цель доразведки – обеспечение предприятия разведанными запасами для продления сроков его работы. Вопрос о доразведке месторождения ставится тогда, когда запасы высших категорий, в основном, уже отработаны. Практически, на этом этапе производится детальная разведка блоков, разведанных ранее по категориям C_1 и C_2 . Производится сгущение сети разведочных выработок в 2-4 раза. По этим данным делается пересчет запасов и перевод их из категории C_1 в В и А, а из C_2 в C_1 . Разумеется, при этом уточняются размеры и форма рудных тел, показатели качества, гидрогеологические и инженерно-геологические условия и пр.

В условиях рыночной экономики доразведка осуществляется за счет средств промышленного предприятия, на балансе которого находятся запасы данного месторождения. Исполнителем работ может быть цех разведки этого горного предприятия или подрядная организация – геолого-разведочная партия.

Методические основы доразведки весьма сходны с методикой детальной разведки. При доразведке обычно сохраняется существующая ранее система координат и разведочных линий. Сгущение сети скважин и проходка горных выработок производятся в тех же сечениях или посередине между ними, а также на промышленных горизонтах и этажах. Обычно выработки при доразведке проходятся в уже разведанных ранее полях и редко выходят за пре-

дела разведанных запасов категорий C_1 и C_2 . Известны случаи открытия совершенно новых рудных тел. Методика подсчета запасов, оформления отчета, его экспертиза и защита совершенно аналогичны этим процедурам при завершении детальной разведки.

5.5. Эксплуатационная разведка

В отличие от предыдущих стадий разведки эксплуатационная или промышленная разведка не ставит перед собой цели прироста запасов или перевода их в высшие категории. Главной целью ее является обеспечение точности планирования количества и качества добытой рудной массы, а в ряде случаев и обогащенной руды. На ее основе обеспечивается информация также для нормального хода горно-подготовительных, нарезных и добычных работ и решение вопросов наиболее эффективной отработки рудных тел. Основные задачи эксплуатационной разведки таковы:

- уточнение условий залегания, размеров и формы рудных тел, их внутреннего строения в пределах подготовленного к отработке рабочего этажа или горизонта;
- уточнение качества руд, распределения полезных компонентов и вредных примесей, детализация пространственного распределения показателей качества и различных типов и сортов руд;
- оконтуривание безрудных участков внутри рудных тел и прослеживание контактов полезного ископаемого с вмещающими породами;
- уточнение гидрогеологических, инженерно-геологических и других условий эксплуатации, выявление и прослеживание тектонических зон, опасных по воде, газу и пр.;
- уточнение или получение показателей обогащения руд разведываемых блоков и горизонтов, оконтуривание технологических типов руд (технологическое картирование) в плановом контуре добычи.

Эксплуатационная разведка незначительно (на 2-3 года) опережает добычу. Проект ее составляется на срок до пяти лет геологической службой предприятия и утверждается главным инженером. Ежегодно планируются ее объем, направление и составляется отчетность. Эксплуатационная разведка ведется на средства предприятия и силами предприятия, реже подрядными организациями. Как правило, она продолжается весь период отработки месторождения.

Методика эксплуатационной разведки несет в себе черты предыдущих этапов, но в значительной мере зависит от способа и системы разработки. Существенно отличается эксплуатационная разведка при подземной и открытой добыче.

При открытых горных работах эксплуатационная разведка опережает разработку на один-два горизонта. Скважины обычно бурятся или неглубокие колонковые, или станками шарошечного бурения по сети вдвое или более раз гуще, чем для высших категорий детальной разведки. При этом значительно детализируются представления о горно-геологических параметрах, количестве и качестве полезного ископаемого.

Наиболее эффективна такая разведка для пологозалегающих рудных тел, когда затруднена экстраполяция показателей сверху вниз (рис. 5.1). На месторождениях с крутопадающими рудными телами простого геологического строения при открытой разработке скважины эксплуатационной разведки не несут дополнительной информации по сравнению с данными отработки и опробования верхнего горизонта. В этом случае геологическое строение нижнего горизонта в значительной степени повторяет верхний и от его разведки можно отказаться. Большое значение имеет эксплуатационная разведка пластообразных залежей сложного строения, где результаты детальной разведки не могут обеспечить достоверных исходных данных для планирования горных работ (рис. 5.2).

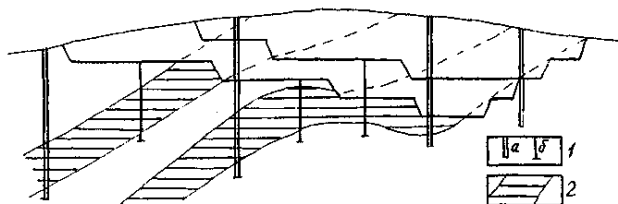


Рис. 5.1. Эксплуатационная разведка пологопадающих рудных тел при открытой добыче (разрез): 1 – скважины детальной (а) и эксплуатационной (б) разведки; 2 – рудные тела

При подземной разработке полезных ископаемых эксплуатационная разведка решает еще одну существенную задачу – выявление местоположения отдельных рудных блоков для корректировки направления проходки подготовительных и очистных горных выработок. Важность этой задачи возрастает вместе с увеличением сложности геологического строения месторождения: формы рудных тел, их тектонической нарушенности. Разведка позволяет уточнить действительное положение рудного тела и его морфологические особенности, которые иногда значительно отличаются от изображения по данным предыдущих разведок (рис. 5.3). Она обеспечивает составление локальных проектов во изменение основного на участках, планируемых к отработке на ближайшие

один-два года. Вместе с этим обеспечиваются управление качеством и полнота выемки запасов с минимальными потерями и разубоживанием.

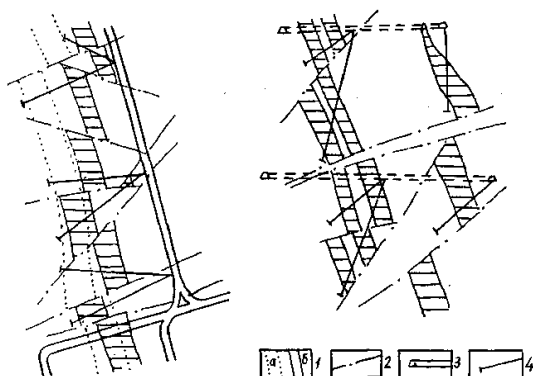


Рис. 5.2. Эксплуатационная разведка крутопадающих тел при подземной разработке:
1 – рудные тела по данным детальной (а) и эксплуатационной (б) разведки;
2 – дизъюнктивные нарушения; 3 – подземные горные выработки;
4 – скважины эксплуатационной разведки

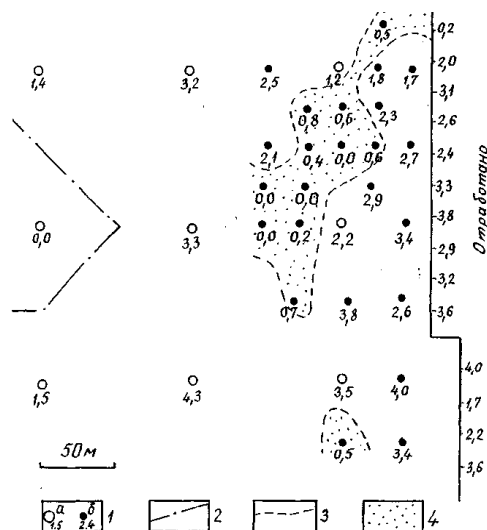


Рис. 5.3. Эксплуатационная разведка огнеупорных глин: 1 – скважины детальной (а) и эксплуатационной (б) разведки (цифрами обозначены мощности глин, м);
2 – граница залежи по данным детальной разведки; 3 – граница залежи по данным эксплуатационной разведки; 4 – некондиционные участки (мощность глин меньше 1 м)

6. ОПРОБОВАНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ПРИ РАЗВЕДКЕ И ДОБЫЧЕ

6.1. Цели, задачи и классификация опробования

Опробование – это определение численного значения показателя качества полезного ископаемого в данной точке или объеме массива полезного ископаемого с заданной точностью.

В определении четко ставится цель – определить численное значение показателя качества с заданной точностью. Под массивом подразумеваются рудное тело (природный массив) или искусственные массивы: рудный штабель или отвал, поток руды (например, движущийся транспортер, составы с рудой и пр.).

В определении не указывается, каким образом находится значение показателя, лишь бы была обеспечена заданная точность. Если определяется сразу сам искомый показатель, опробование называется прямым; если же показатель определяется как функция другого показателя или свойства объекта, опробование называется косвенным.

Официальная теория [1; 2; 7; 15] классифицирует опробование на несколько видов: химическое, минералогическое, геофизическое, техническое, технологическое. В этой классификации нет единого принципа. Результат минералогического опробования – это определение содержания минералов в пробе. Его можно достигнуть как подсчетом числа зерен в шлифах, так и оптико-геометрическими методами в шлифах или аншлифах. Геофизическое и химическое опробования чаще всего преследуют одну цель – определение содержания химических элементов, но разными средствами. Техническое опробование производится для определения самых разнообразных физических свойств полезного ископаемого: плотности, объемной массы, пористости, сопротивления нагрузкам, влажности, пластичности, огнеупорности, удельной теплоты сгорания и пр. Соответственно и методов испытания технических проб очень много. Технологическое опробование, в общем случае, представляет собой определение показателей обогащения, а также качество готовой продукции других производств. Обычно это содержание металла в исходном продукте (руде), промежуточных продуктах, концентрате и хвостах, выход этих продуктов и извлечение металла из них. Средством для определения этих показателей могут быть и минералогические, и оптико-геометрические, и химические, и различные гео- и ядерно-физические, спектральные и другие испытания. Следовательно, технологическое опробование является наиболее общим видом опробования, а многие другие виды лишь способами (средствами) получения технологических показате-

телей. Качество исходной руды (в недрах и добытой) является начальным технологическим показателем.

Задачи, решаемые опробованием, включают:

- установление контуров рудных тел, не имеющих видимых геологических границ;
- определение среднего значения показателя качества в блоке, рудной залежи, месторождении, искусственном массиве и в технологическом потоке за отдельный отрезок времени;
- оценку изменчивости качества полезного ископаемого в пространстве, выявление закономерностей пространственного размещения природных типов и промышленных сортов руд;
- контроль качества сырья и промышленной продукции за отчетный период и оценку изменчивости качества во времени.

6.2. Параметры опробования

Параметрами опробования называются:

- объем, масса или линейные размеры пробы-порции, обеспечивающие ее достоверность;
- плотность и геометрия сети проб, обеспечивающие представительность результата;
- система погрешностей опробования.

6.2.1. Достоверность и минимальные размеры (объем, масса) точечной пробы

Достоверностью единичной пробы, точечной или горстевой, следует считать ее качественное соответствие опробываемому материалу. Так, если опробуется магнетитовая руда с пиритом, гранатом и кальцитом брекчиевидной текстуры, где обломки брекчии представлены магнетит-гранатовым скарном, а цемент – сплошным магнетитом, то в пробе должен быть такой участок природного массива, где присутствуют несколько обломков скарна, сцементированных магнетитом с вкрапленностью пирита. Если отобрать отдельно магнетит и часть обломка скарна, то это будут пробы магнетита и скарна, а не упомянутого выше типа руды. Если цель отбора пробы – химический анализ для определения среднего качества участка массива, то качественная достоверность порции, отобранной в данной точке, не играет практической роли. Точность результата тогда может быть обеспечена представительностью объединенной пробы, составленной из порций как угодно малого объема, но с учетом суммы неоднородностей всех уровней от линейных размеров порции до опробываемого участка массива. При исследовании других показателей качества, напри-

мер показателей обогащения или физико-механических свойств, достоверность каждой отобранной порции определяет результаты испытаний. Например, если отобрать отдельные порции магнетита и скарна, то невозможно будет проведение эксперимента по дроблению и сухому магнитному обогащению продуктов соответствующей крупности, так как размеры отобранных порций уже могут быть значительно мельче продуктов дробления. И, тем более, нельзя определить временное сопротивление одноосному сжатию типа руды, отбирая порции, представленные отдельными, различными по составу фрагментами рудного агрегата.

Второе условие достоверности единичной пробы – это минимизация систематической погрешности значения исследуемого показателя относительно области ее замера. (Областью замера Л.И. Четвериков [29; 30] называет «область, значение показателя в которой выражает проба». Для единичной пробы область замера практически равняется объему самой порции.)

Линейные размеры элементарного участка структуры руды L_c можно получить, обозначив размер рудного зерна d , а расстояние между рудными зернами, представленное нерудными минералами, l . Тогда минимальные размеры элементарного участка структуры руды

$$L_c = d + l. \quad (6.1)$$

Содержание металла в руде представлено как

$$\alpha = C_m A + C_n (1 - A), \quad (6.2)$$

где A – доля рудного минерала в руде; C_m и C_n – содержание металла в рудной и нерудной фазах.

$$A = d / (d + l) = (\alpha - C_n) / (C_m - C_n), \quad (6.3)$$

тогда
$$L_c = (C_m - C_n) d / (\alpha - C_n). \quad (6.4)$$

Линейные размеры эффективной неоднородности на текстурном уровне L_T , т.е. участки рудного агрегата, которому присущи все качественные признаки данного природного типа руд, определяются такой минимальной длиной участка вектора, на котором это условие выполняется. Этот вектор должен быть перпендикулярным ориентировке текстуры, иначе не выполняется условие $L \rightarrow \min$.

$$L_T = |a - b| \rightarrow \min \text{ при условии}$$

$$(C_m - C_n) / (\alpha - C_n) = |a - b|^{-1} \int_a^b F(x) dx, \quad (6.5)$$

где a и b – начальная и конечная абсциссы вектора; $F(x)$ – функция пространственного распределения рудного минерала.

Если элементы эффективной неоднородности L_c и L_T считать средними величинами, то линейные размеры точечной пробы изометрической формы L следует определять с учетом вариации размеров структурных и текстурных элементов. Тогда в однородных текстурах

$$L = L_c \cdot t, \quad (6.6)$$

а в неоднородных

$$L = L_T \cdot t, \quad (6.7)$$

где t – коэффициент вероятности.

В общем случае для лабораторных химических и технологических испытаний рациональной следует считать пробу в форме борозды длиной не менее L_T и размерами сечения не менее L_c , ориентированную перпендикулярно ориентировке текстуры.

Если горстевая проба отбирается от искусственного массива дробленной или измельченной руды, неоднородность в пределах малых (элементарных) его участков определяется дисперсией дискретности, обусловленной различиями состава находящихся рядом кусков руды, породы или минералов

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (\bar{c}_i - \bar{c})^2 / (n - 1), \quad (6.8)$$

где c_i и $\bar{c}$ – содержание металла в i -м куске и среднее арифметическое содержание металла в порции из n кусков, располагающихся рядом в массиве.

Поскольку

$$n = \sigma^2 t^2 / \mu^2, \quad (6.9)$$

где μ – абсолютная максимально допустимая погрешность, то

$$V = nD^3 = \sigma^2 t^2 D^3 / \mu^2, \quad (6.10)$$

где V – объем порции, D – средний размер куска.

Рабочая формула минимальной массы горстевой пробы по В.З. Козину [15]

$$q = \int_0^{D_{\max}} \sigma_k^2(D) \mu^{-2} p f \omega(D) dD = 2 p f \sigma_k^2(D) D^3 / \mu^2, \quad (6.11)$$

где D – максимальный размер куска; ρ – средняя плотность куска в пробе; f – коэффициент формы, равный 0,3-0,5.

Покусковая дисперсия σ_k^2 имеет различную природу в двух крайних случаях состояния рудного агрегата. В крупнодробленой руде, когда природный агрегат еще фактически не разрушен, различия содержания металла на отдельных участках могут быть описаны только его дисперсией в природном массиве. При измельчении руды и раскрытии отдельных зерен неоднородность отдельных кусков уменьшается, но возрастает разность содержания металла в кусках, обусловленная его различием для рудных и нерудных минералов.

Проба представлена кусками рудных и нерудных минералов

$$\sigma_k^2 = (C_M - \alpha)(\alpha - C_H). \quad (6.12)$$

При степени раскрытия нерудной фазы f_B , изменяющейся от нуля до единицы, в так называемой «переходной зоне» [15] заменяем в предыдущем выражении содержание металла в рудном минерале на содержание его в концентрате [23] и получаем

$$\sigma_k^2 = (C_M - \alpha)(\alpha - C_H)^2 f_B / [(C_M - C_H) - (C_M - \alpha)f_B]. \quad (6.13)$$

При степени раскрытия $f = 0$ дисперсия куска обращается в нуль.

6.2.2. Представительность и плотность сети опробования

Представительностью группы проб (объединенной пробы) называется степень соответствия числового значения показателя в определенном объеме по данным опробования $Z(V)$ истинному значению этого показателя Z . Числовой характеристикой представительности является ошибка аналогии $\Delta_{ан}$ [29].

$$\Delta_{ан} = Z(V) - Z. \quad (6.14)$$

Представительность обеспечивается отбором минимально необходимого количества отбираемых порций n или длиной интервалов между соседними порциями L_x .

При определении этих параметров возможны следующие случаи.

Распределение показателя может быть случайным (рис. 6.1, а), когда оно описывается выражением

$$u = \bar{c} \pm \delta, \quad (6.15)$$

где $\bar{c}$ – среднее значение показателя; δ – случайная составляющая. Закономерная составляющая (тренд) отсутствует. При этом достаточно, чтобы было справедливо равенство

$$\sigma^2 = \sigma_x^2 = \sum_{i=1}^n (c_i - c_{i+1}) / 2(n-1), \quad (6.16)$$

где c_i и c_{i+1} – значения показателя в точках i и $i+1$.

Тогда число единичных проб или замеров для определения среднего арифметического значения показателя

$$n = \sigma^2 t^2 / \mu^2. \quad (6.17)$$

Если $\delta > \mu$, имеет место распределение с трендом (рис. 6.1, б), описываемое в общем случае выражением

$$u = F(x) \pm \delta,$$

при этом
$$\delta = \sum_{i=1}^n |c_i - f(x_i)| / n. \quad (6.18)$$

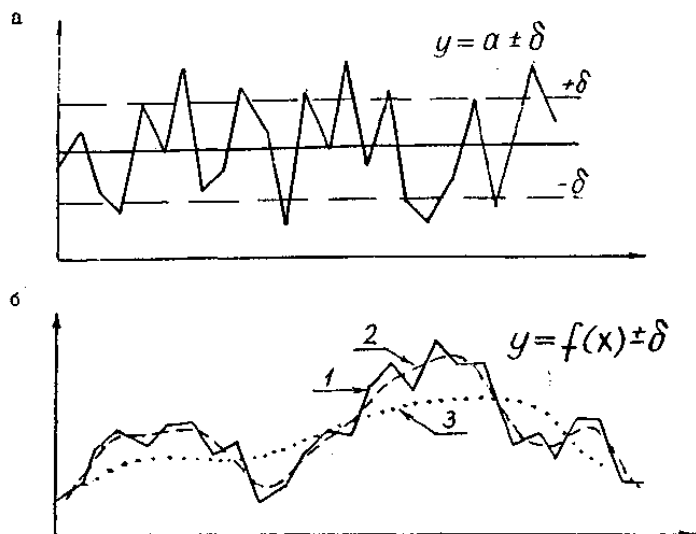


Рис. 6.1. Графики распределения пространственных переменных:
а – случайные; б – с закономерной составляющей: 1 – фактическое качество;
2 – тренд первого уровня сглаживания; 3 – тренд второго уровня сглаживания потока

Если $\delta < \mu$, и имеет место нелинейный тренд, определяется интервал между соседними порциями в заданном направлении X

$$L_x = \mu / f'(x),$$

при этом
$$f'(x) = |u_a - u_b| / |a - b|, \quad (6.19)$$

где u_a и u_b – значения регулярной составляющей q -го уровня сглаживания в начале и в конце интервала.

При наличии линейного тренда интервал между соседними порциями равен длине абсциссы линейного участка тренда.

Если $\delta > \mu$, имеет место сложное распределение с участием закономерной и случайной составляющих. Тогда определяется число порций, отбираемых в заданном интервале и направлении внутри опробуемого массива

$$n_x = \sigma_x^2 t^2 / \mu^2,$$

при этом
$$\sigma_x^2 = \sum_{i=1}^{n-1} (c_i - c_{i+1})^2 / 2(n-1). \quad (6.20)$$

6.2.3. Погрешности опробования

Полная погрешность точечной пробы рассматривается [15] как сумма погрешностей

$$\Delta = -tS + (-)\Delta_T + (-)\Delta_{BC}, \quad (6.21)$$

где S – случайная погрешность; Δ_T – систематическая техническая погрешность; Δ_{BC} – вероятная систематическая погрешность; t – критерий Стьюдента.

Вероятная систематическая погрешность проявляется как следствие асимметрии распределения. В общем случае

$$\Delta_{BC} = M(x) - M(0), \quad (6.22)$$

где $M(x)$ – математическое ожидание; $M(0)$ – мода.

Техническая систематическая погрешность является следствием нарушения представительности материала пробы на всех этапах ее отбора, подготовки и испытания. К примеру, при отборе пробы керна могут теряться мягкие минералы из его периферийной части, при сокращении в пробе имеет тенденцию оставаться более крупный или тяжелый материал. Возникает систематическая погрешность и при замерах геофизической аппаратурой из-за технической разрегулировки прибора или несоблюдения условий измерения и т.п. При технологическом опробовании условия обработки и испытания проб отличаются от промышленных схем и поэтому всегда дают систематическую погрешность. Она бывает стабильной в условиях системы: промышленная схема, лабораторная аппаратура, природный тип руды.

Систематическую техническую погрешность при отборе пробы можно выразить путем учета утерянной части пробы.

При неполном выходе керна систематическая погрешность составит

$$\Delta_k = C_\phi - C_o = (C_\phi - C_n)(1 - p), \quad (6.23)$$

где C_o – среднее значение показателя в массиве; C_ϕ – значение показателя в керне; C_n – значение показателя в утерянном материале; p – выход керна в долях единицы.

Погрешность, возникающая при отборе пробы в форме борозды или штуфа, определяется по формуле

$$\Delta_b = (C_\phi - C_n)h_{ab} / D_{ш}, \quad (6.24)$$

где h_{ab} – высота неровностей на поверхности штуфа (борозды); $D_{ш}$ – диаметр изометричного штуфа или размеры поперечного сечения борозды.

Тогда минимальные размеры достоверной штуфной пробы

$$D_{ш.min} = L_T + |C_\phi - C_n|h_{ab} / C_\phi \mu, \quad (6.25)$$

а размеры поперечного сечения борозды

$$L_{б.min} = L_c + |C_\phi - C_n|h_{ab} / C_\phi \mu. \quad (6.26)$$

Следовательно, для достоверности монолитной порции пробы первостепенную роль играют не ее начальная масса или объем, а линейные размеры и форма. Для гарантии достоверности порции следует применять пробоотбирающие устройства, работающие по принципу вырезания или бурения с минимальной глубиной неровностей поверхности. Таким свойством обладают армированные алмазами диски или коронки.

Экспериментально получены значения случайных погрешностей технологического опробования магнетитовых руд при операциях отбора, подготовки, обогащения и химанализа. Они в среднем относятся как 10:5:2:1. Установлена зависимость погрешностей отбора и в меньшей степени подготовки от производной показателя обогащения по параметрам состава и строения руды du/dx и локальной дисперсии этих природных параметров. В общем случае для точечных проб она описывается выражением

$$U_{сл.i(x)t} = du/dx \cdot \sigma_{л(x)t}. \quad (6.27)$$

Контроль погрешностей опробования осуществляется дублированием операций. Систематически контролируются только

ошибки химической лаборатории: случайная и систематическая. Для этой цели на контрольный анализ направляется не менее 10% дубликатов проб. Внутренний контроль осуществляется в лаборатории, где выполняется основной анализ проб, с целью выявления случайной погрешности. Внешний контроль выполняется в арбитражной центральной лаборатории для определения систематической погрешности. Случайная погрешность определяется по выражению

$$\Delta_{\text{сл}} = (\sum_{i=1}^n |c_o - c_k|)/n, \quad (6.28)$$

где c_o и c_k – соответственно результаты основного и контрольного анализов внутреннего контроля i -й пробы. Систематическая погрешность подсчитывается по формуле

$$\Delta_{\text{сист.}} = [\sum_{i=1}^n (c_o - c_k)]/n. \quad (6.29)$$

Фактические погрешности сравниваются с максимально допустимыми. Если случайная погрешность больше максимально допустимой, то результаты анализов бракуются для всей контролируемой партии. Всегда принимаются меры по снижению систематической погрешности. Если это по объективным причинам невозможно или нецелесообразно, вводится поправка в результаты всех анализов. Значения максимально допустимых относительных погрешностей химанализов даются в табл. 6.1.

Контроль результатов геофизического опробования проводится путем параллельного определения значений показателей качества методом обычного химического опробования. Однако допуски, установленные для химанализов, здесь не действуют. Во-первых, геофизическое опробование во много раз дешевле химического и общая случайная погрешность результата может быть уменьшена при увеличении числа замеров. Во-вторых, погрешности геофизического опробования нужно сравнивать не с погрешностями химанализа, а с суммарной погрешностью отбора, подготовки и анализа химической пробы, которую определить весьма трудно. Значение же такой суммарной погрешности результата может в 10 и более раз превышать погрешность химанализа. Поэтому при относительной ошибке химанализа 0,3% для содержания железа на горных предприятиях широко используют магнитный каротаж буровзрывных скважин, погрешность результата которого в среднем составляет 2,5%.

Таблица 6.1

Некоторые допустимые средние случайные
относительные погрешности химических анализов
для руд черных и цветных металлов

Компонент	Содержание компонента в руде, %	μ, %	Компонент	Содержание компонента в руде, %	μ, %
Fe	> 30	1-2	P	> 0,3	3-7
	10-30	2-4		0,03-0,3	7-15
	5-10	4-8	Ni	1-5	3-7
Cr	>10	1-3		0,2-1	7-15
	1-10	3-7		< 0,2	15
	< 1	7	Pb	>15	2-4
Mn	> 5	2-4		6-15	3-6
	1-5	4-7		0,5-6	6-12
	0,05-1	7-20		< 0,5	12
SiO ₂	30-50	2-3	Zn	>25	2-3
	10-30	3-8		10-25	3-6
	3-10	8-15		0,5-10	6-15
TiO ₂	2-15	2-5		< 0,5	15
	0,1-2	5-20	Mo	>1	2-5
Sn	> 1	3-5		0,25-1	5-10
	0,25-1	7-15		0,05-0,25	10-20
	0,05-0,25	15-30	Hg	> 2	3-12
WO ₃	> 1	3-5		0,25-2	7-15
	0,25-1	5-15		0,06-0,25	15-30
	0,05-0,25	15-30	Sb	> 2	3-12
As	> 2	1-5		0,5-2	12-20
	0,5-2	5-7	Cu	> 3	3-7
Al ₂ O ₃	> 20	2-4		0,5-3	7-10
	5-20	4-8		0,05-0,5	10-15
	1-5	8-20	Bi	> 0,5	5-15
MgO	> 5	3-10		0,2-0,5	15-20
	1-5	10-20	Au,	> 50	1-3
CaO	> 25	3-5		20-50	3-5
	5-25	5-10		5-20	5-10
	1-5	10-25	Ag,	> 100	1-3
S	> 20	1-2		30-100	3-5
	1-20	2-5		10-30	5-12
	0,05-1	5-10			

6.3. Отбор и подготовка проб

Отбор проб может производиться:

- из природного массива (от керна скважины или из забоя);
- от шлама скважины бескернового бурения;
- от измельченных неподвижных масс (из взорванной массы или штабеля);
- от перемещаемых масс (дробленой и измельченной руды, промежуточных продуктов, концентратов, хвостов).

Отбор проб керна производится на керноскладе после сплошного описания. На основе этого описания намечаются интервалы отбора рядовых проб и интервалы объединения для групповых проб (например, для промышленных сортов полезного ископаемого). Интервал отбора рядовой пробы обычно принимается 2 м, реже – до 1 м. Отбор проб керна производится вдоль по оси раскалыванием или распиливанием. Не менее половины керна остается. Наиболее прогрессивным способом пробоотбора от керна является распиливание его вдоль оси дисковой пилой, армированной алмазной крошкой. В пробу поступает отпиленный сегмент. В дальнейшем подготовка и анализ проб осуществляются по общему принципу.

При опробовании забоев горных выработок отбирают точечные, бороздовые, задиrkовые и валовые пробы. Точечные пробы не имеют пространственных форм. Область их замера по сравнению с опробываемым массивом бесконечно мала. Проба, отобранная в точке забоя, представляет собой шуф и называется шуфной. Линейные размеры шуфа должны быть не менее линейных размеров эффективной неоднородности массива по текстуре. Иногда в пробу объединяются несколько шуфов, отобранных на участке небольшой площади. Такая проба тоже может быть отнесена к точечным. Точечная проба, отобранная в штабеле совком или лопатой за один раз, называется горстевой. Несколько точечных проб, отбираемых от большой площади или объема, должны быть взяты из точек, представляющих узлы сети опробования, рассчитанной с учетом пространственного распределения, в том числе анизотропии массива и допустимой погрешности результата.

По визуальной фиксируемой анизотропии строения рудного природного массива и перпендикулярно линейности текстуры отбираются бороздовые пробы. Бороздовая проба характеризуется интервалом и сечением. Площадь сечения борозды соответствует линейным размерам эффективной неоднородности массива по структуре, а интервал может колебаться от линейных размеров элементов текстурной неоднородности до мощности опробываемого природного типа или разновидности полезного ископаемого.

При весьма неравномерном распределении минерала или металла в руде или породе и если металл или минерал относятся к особо ценным, применяют задиrkовые или валовые пробы. Задиrkовая проба отбирается со всей площади забоя на глубину нескольких сантиметров и имеет массу сотни и тысячи кг. В валовую пробу поступает вся горная масса из выработки. Валовые пробы отбираются также для технологических исследований по промышленным схемам. Их масса составляет тонны, десятки тонн и более.

При опробовании природного массива соблюдаются следующие требования достоверности и представительности опробования:

- линейные размеры (объем) пробы равны или больше расчетных минимальных;
- количество проб (порций) больше или равно расчетному количеству для представительности;
- геометрия сети опробования соответствует анизотропии распределения показателя в пространстве;
- сечение борозды постоянно, направление ее параллельно наибольшей изменчивости показателя, а расстояние между соседними бороздами соответствует расчетной плотности сети опробования в направлении наименьшей изменчивости показателя; глубина задирки постоянна по всей площади забоя.

При отборе проб шлама из скважин единственное условие гарантии достоверности проб – отбор всего шлама в пробу. Утеря части шлама из шпура или выборочный отбор порций шлама из скважин большого диаметра приводят к систематической ошибке за счет сегрегации материала. При контроле результатов каротажа скважин шарошечного бурения опробованием шлама систематические погрешности геофизического опробования и результата опробования шлама суммируются. Следовательно, такой контроль едва ли эффективен.

Описаны [15] три способа отбора проб от перемещаемых масс: поперечных сечений, продольных сечений и извлечение элементов потока (рис. 6.2). При отборе особенно двумя последними способами неминуема систематическая ошибка, обусловленная сегрегацией материала по плотности и крупности. Значение ее если и возможно установить, то только эмпирически в конкретных условиях, обусловленных свойствами материала, крупностью измельчения, минеральным составом, конструкцией пробоотборника.

При отборе способом поперечных сечений ошибка минимальна. Для представительности пробы, составленной из нескольких порций, необходимо соблюдение следующих условий:

- постоянство длины сечений потока по всей его ширине и во всех последующих сечениях;
- постоянство расстояний между сечениями в потоке. Это обеспечивает равный весовой коэффициент каждой порции пробоотбора. Достоверность одной порции обеспечивается отбором минимального объема (массы) точечной пробы.

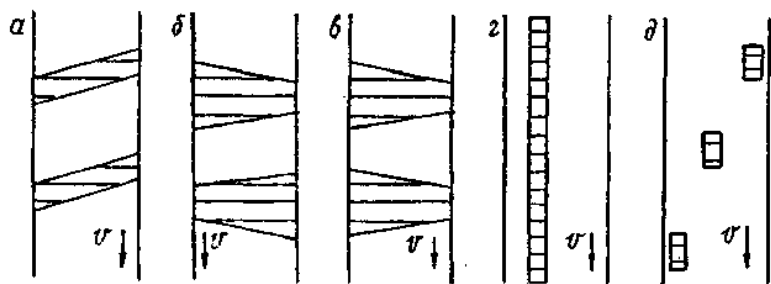


Рис. 6.2. Способы отбора проб от перемещаемых масс [15]: а, б – правильное поперечное; в – неправильное поперечное; г – продольное; д – извлечение элементов потока; v – направление движения

Проблема опробования измельченных продуктов несколько упрощается при применении достаточно точного геофизического метода определения значения показателя. Можно установить надежную связь показаний прибора со значениями показателя. Для этой цели нужно произвести серию замеров в заранее отобранных порциях исследуемого продукта, сделать химическое определение содержания металла в этих порциях и определить характер связи значений замеров и анализа. Имея такую зависимость, можно сделать любое количество замеров в штабеле или потоке и даже получить непрерывный график изменения значений показателя в любом направлении. Так можно с максимальной достоверностью изучить характер неоднородности состава штабеля или потока и, следовательно, добиться максимальной представительности опробования.

Отбор пробы имеет решающее значение для ее достоверности. При отборе как от забоя, так и от штабеля и потока руды часто допускаются нарушения, приводящие к избирательному взятию одних частей массива и потере других. От штабеля может быть отобран избирательно слишком крупный или реже слишком мелкий материал. В керне скважин не представлены рыхлые и трещиноватые участки массива. При опробовании забоя слабые его части также часто выкрашиваются. При опробовании штабеля или потока руды прогрессивными являются автоматические пробоотбиратели, де-

тельно описанные в монографии В.З.Козина [15]. Они обеспечивают опробование штабеля на значительную глубину или равномерное поперечное пересечение потока руды. При опробовании забоев рекомендуется применять механические конструкции для отбора штучков, имеющие в основе буровое устройство, оснащенное алмазной коронкой. При этом абразивный рельеф на границе пробы и массива имеет минимальную высоту – десятые доли миллиметра. Несколько хуже достоверность проб, отобранных с помощью пневмоударных пробоотборных устройств. Самое низкое качество пробоотбора имеют ручные способы – лопатой от штабеля и потока руды, молотком и зубилом от забоя. В этом случае погрешности пробоотбора максимальны вследствие потери части материала, невыдержанности массы отдельных порций, сечения борозды и т.п.

Подготовка проб заключается в последовательных операциях дробления, измельчения, сокращения (рис. 6.3).

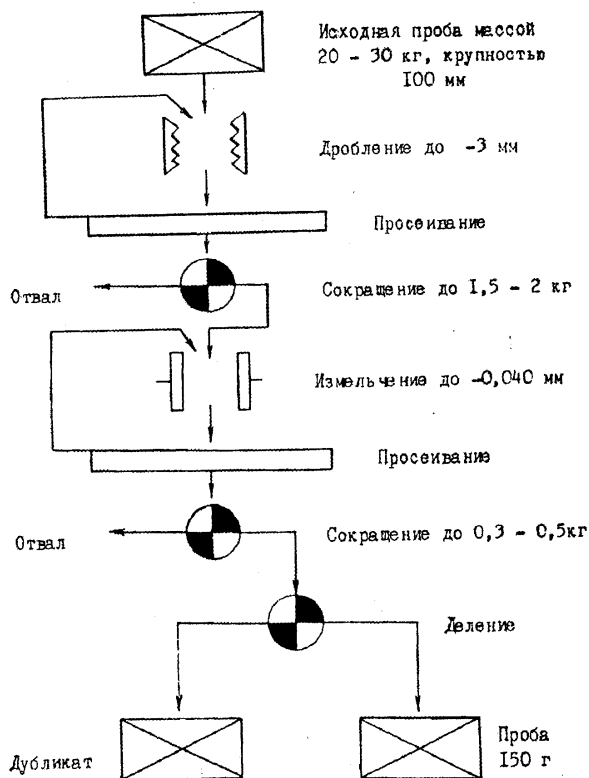


Рис. 6.3. Пример схемы подготовки проб для химического анализа

При всех операциях должно выдерживаться соответствие массы пробы и крупности ее помола. При этом соблюдается принцип Чечотта

$$q = kD^2, \quad (6.30)$$

где q – масса пробы, кг; k – коэффициент, зависящий от равномерности перемешивания материала, $k = 0,01 \dots 0,1$; D – диаметр частиц, мм.

6.4. Косвенные методы опробования

К ним можно отнести все виды определения значений показателей качества по ранее полученным данным о других показателях (в том числе и множество геофизических методов) и все виды опробования, осуществляемые без отбора и испытания проб. Результаты технологического опробования, несущие систематическую погрешность, также непосредственно дают косвенные показатели, более или менее тесно связанные с искомыми плановыми показателями обогащения. Для косвенного определения содержания металла в блоке часто применяются опробование по типам руд [12], корреляционный метод и экстраполяция [23].

Опробование по типам руд применяется, когда типы руд, выделяемые чаще по природным свойствам (например, по минеральному составу, структуре и текстуре), относительно легко диагностируются визуально или по данным опробования, а стандартное отклонение исследуемого показателя не превышает допустимой погрешности. Последнее требование не всегда соблюдается, так как во многих случаях отсутствуют установленные значения допустимых погрешностей. Средние значения и другие оценочные параметры исследуемого показателя качества определяются эмпирически. Для расчета среднего планового показателя $C_{пл.}$ необходимо определить лишь количественные соотношения типов руд в плановом контуре добычи, выражаемые их выходом $p, \%$. Тогда прогнозируемое качество подсчитывается по формуле среднего взвешенного

$$C_{пл.} = 0,01 \sum c_j p_j, \quad (6.31)$$

где c_j – среднее значение показателя качества в данном типе сырья; p_j – выход типа в плановом контуре.

Корреляционный метод позволяет подсчитать или графически определить значение одного показателя по известному значению другого (или других). Корреляционный метод позволяет определить силу и характер зависимости (связи) значений двух (парная корреляция) и нескольких показателей (множественная корреляция).

Корреляционная связь может быть моделирована графически (рис. 6.4) и в матричной форме (табл.6.2). Математическим показателем парной корреляции является коэффициент корреляции

$$r = \frac{\sum x' y' - (\sum x')(\sum y')}{\sqrt{[\sum (x')^2 - (\sum x')^2][\sum (y')^2 - (\sum y')^2]}}, \text{ при } x' = x_i - \bar{x} \text{ и } y' = y_i - \bar{y}, \quad (6.32)$$

где x_i и y_i – соответственно значения факториального и результирующего показателей по i -му наблюдению; $\bar{x}$ и $\bar{y}$ – средние арифметические значения соответственно факториального и результирующего показателей.

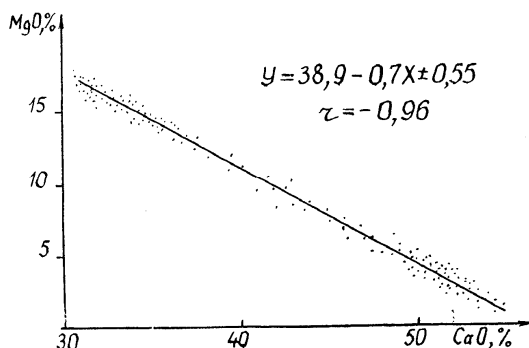


Рис. 6.4. График корреляционной связи содержаний MgO и CaO в известняках и доломитах Агаповского месторождения

Таблица 6.2

Корреляционная связь Fe-SiO₂ в рудах с магнезиальными силикатами Соколовского месторождения

Fe=X SiO ₂ =Y	17- 21	21- 25	25- 29	29- 33	33- 37	37- 41	41- 45	45- 49	49- 53	53- 57	57- 61	61- 66	n
	19	23	27	31	35	39	43	47	51	55	59	63	
37-41	39	1											1
33-37	35	1	5	2									8
29-33	31		6	7	1								14
25-29	27		3	6	21								30
21-25	23				11	19	15						45
17-21	19				1	2	21	44	6				74
13-17	15							24	36	10			70
9-13	11							1	6	32	70	14	123
5-9	7										12	49	79
1-5	3											1	10
n	2	14	15	34	21	36	69	48	42	82	64	28	455

Коэффициент корреляции характеризует характер и силу прямолинейной парной связи параметров x и y . Он изменяется от -1 до +1. При $r = -1$ связь функциональная обратная, а при $r = +1$ – функциональная прямая. При $r = 0$ связь отсутствует.

Критерий надежности коэффициента корреляции;

$$\mu_r = |r| / \sigma_r, \quad (6.33)$$

где σ_r – ошибка выборочного коэффициента корреляции

$$\sigma_r = (1 - r^2) / (n - 1)^{0.5}. \quad (6.34)$$

Корреляционное отношение характеризует силу криволинейной корреляционной связи и определяется по выражению

$$\eta = \{ [\sum p_x (y_x - \bar{y})^2] / [\sum p_y (y_y - \bar{y})^2] \}, \quad (6.35)$$

где p_x и p_y – частоты соответственно значения x показателя X и значения y показателя Y ; $\bar{y}$ – общая средняя показателя Y ; y_x – условная средняя показателя Y , соответствующая частоте p_x .

Корреляционное отношение изменяется от нуля до +1. Если $\eta = |r|$, то связь x и y линейная.

При $r > 0,9$ и $\eta = |r|$ для определения значений показателя Y по известным значениям X можно использовать график их зависимости (см. рис. 6.4) или уравнение парной связи

$$y = Ax + B + \delta_y. \quad (6.36)$$

Это уравнение выводится из следующих выражений:

$$y = \beta_{y/x} (\bar{x} - x) + \bar{y}; \quad \beta_{y/x} = r \sigma_y / \sigma_x; \quad (6.37)$$

$$\delta_y = [\sum p_x (y - y_x)] / N, \quad (6.38)$$

где N – общее количество выборки.

Экстраполяцией называется продолжение закономерной составляющей (тренда) во времени или пространстве вдоль координаты абсцисс для прогноза значения искомого показателя по оси ординат. Для получения линии тренда $Y = F(X)$ строится график фактических значений показателя y_i (рис.6.5). Производится его сглаживание по выражениям:

$$\begin{aligned} y_i(1) &= (y_i + y_{i+1}) / 2; \\ y_i(2) &= [y_i(1) + y_{i+1}(1)] / 2; \\ &\dots\dots\dots \\ y_i(q+1) &= [y_i(q) + y_{i+1}(q)] / 2, \end{aligned} \quad (6.39)$$

где q – порядок (уровень) сглаживания.

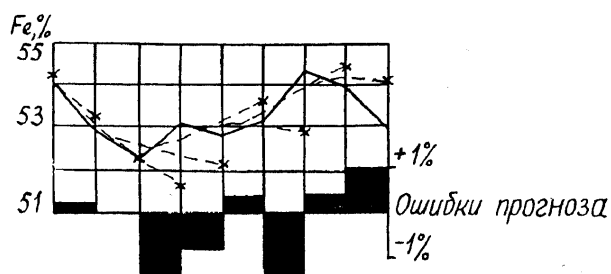


Рис. 6.5. Экстраполяция содержания железа при недельном планировании на руднике горы Магнитной

Сглаживание продолжается до того уровня, когда будет справедливо равенство $\delta_y = \mu$ при

$$\delta_y = \left[\sum_{i=1}^N |y_i - f(x_i)| \right] / N. \quad (6.40)$$

Прогнозное значение Y определяется продлением сглаженного графика на один шаг вдоль оси абсцисс.

6.5. Геолого-технологическое картирование

Геолого-технологическое картирование (ГТК) месторождений полезных ископаемых в последние десятилетия широко используется для технологической оценки рудного сырья на всех этапах его изучения от съемочно-поисковых исследований до эксплуатационной разведки и планирования горных работ. Под ГТК понимается комплекс исследований пространственной изменчивости технологических свойств полезных ископаемых и их природных параметров: вещественного состава, текстурно-структурных особенностей, физико-механических свойств. Оно является примером комплексного использования методов косвенного и в меньшей степени прямого технологического опробования. Основной целью ГТК является обеспечение технологической оценки руды на основе выделения ее технологических типов и сортов с определением их качественных и технологических показателей и моделирования пространственной локализации этих типов и сортов при разведке и разработке месторождений. Наиболее конкретной задачей ГТК является определение ожидаемых ведущих (экономически значимых) параметров качества и показателей

обогащения руд на стадии проектирования и планирования горных работ.

В большинстве случаев ГТК включает такую последовательность действий:

- выделение по результатам минералого-петрографических и химических исследований ряда природных разновидностей полезного ископаемого, отличающихся особенностями состава и строения; эти разновидности объединяются в природные типы, которые также характеризуются определенными условиями пространственной локализации и предпочтительно определяются визуально;

- выбор ведущих параметров для создания технологической классификации руд месторождения; к таким параметрам относятся непосредственно экономически значимые показатели обогащения (извлечение, выход концентрата и содержание в нем металла) или природные свойства руды, более легкоопределяемые и тесно количественно связанные с показателями обогащения;

- создание технологической классификации руд месторождения с выделением технологических (промышленных) типов и сортов, отличающихся между собой числовыми характеристиками ведущих параметров, и определение их средних значений и других статистических показателей;

- изучение корреляционных связей между природными свойствами руд и показателями обогащения для технологических типов и разновидностей; выбор аргументов и функций для косвенного определения ведущих плановых (проектных) параметров обогащенной руды;

- изучение пространственной локализации природных типов и разновидностей; оформление геолого-технологической карты, планов и разрезов месторождения, на которых выделяются блоки, представленные теми или иными технологическими (природными) типами.

Более детально схема исследований руд при геолого-технологическом картировании представлена на рис. 6.6.

Под промышленным (технологическим) типом полезного ископаемого понимается общность, принципиально отличающаяся от других схемой переработки (обогащения), занимающая существенный объем месторождения, добыча и переработка которой производится отдельно. Промышленный (технологический) сорт – подразделение технологического типа, выделяющегося по показателям обогащения, получаемым по единой для данного типа технологической схеме.

Изучение вещественно- го состава руд	Иссле- дование системы показа- телей качества	Исследование геолого-минералогических факторов обогатимости	
		Изучение статистики распределения и взаимосвязей природных свойств руды и показателей обогащения	
		Выбор ведущих параметров системы	
Геолого- структурная съемка	Исследование закономерностей пространственно-го распределения ведущих параметров		
	Коррекция (создание) природной классификации руд, получение технологической характеристики типов руд. Геолого-технологическое картирование месторождения		Математи- ческое моделиро- вание рас- пределения показателей
Изучение системы по- грешностей опробования	Изучение случайных погрешностей опробования		
	Изучение систематической погрешности лабораторной аппаратуры		
	Изучение технической погрешности отбора проб		
	Определение вероятной систематической погрешности подсчета среднего значения показателя		
Вычисление параметров опробования	Вычисление линейных размеров проб		
	Определение плотности и геометрии сети проб		
	Определение представительности композитных проб		
Разработка методики опробования и прогноза качества обогащенной руды	Выбор способа пробоотбора и эксперименты по отбору и объединению проб		
	Эксперименты по оперативному прогнозу показателей качества на основе косвенных методов опробования		
	Эксперименты по текущему планированию на основе прямого и косвенного опробования		
	Планирование показателей обогащения в реальных условиях на следующий срок		
Корректировка методики опробования и планирования с учетом практических результатов предыдущего этапа			

Рис. 6.6. Последовательность этапов изучения полезных ископаемых при разработке методики прямого или косвенного опробования и геолого-технологического картирования месторождений

Существуют три главных способа определения технологических показателей, используемых для оконтуривания технологических типов и сортов полезных ископаемых:

- экспериментальный (технологические показатели определяются опытным путем – методами технологического опробования);
- минералогический (определение минералогических факторов, определяющих технологические показатели);

– расчетный (технологические показатели определяются на основе математической зависимости их от информативных параметров полезного ископаемого).

Диагностика технологических типов и сортов в забое или скважине и их оконтуривание на планах и разрезах производятся на основе визуальных наблюдений (по минеральному составу, структуре и текстуре) или по результатам отбора и испытания в лаборатории малогабаритных технологических проб массой 2-5 кг. Определение ожидаемых показателей обогащения технологических типов и сортов может производиться как одновременно по результатам испытаний валовых технологических проб на фабриках, так и на основе малогабаритного технологического опробования с учетом систематических погрешностей.

7. ВОПРОСЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ

7.1. Геологическое обеспечение проектирования

Проектирование горных предприятий осуществляется специализированными проектными институтами: Гипроруда, Гипрошахт, Механобр и т.п. на основе материалов детальной разведки месторождения. Способ вскрытия, системы разработки и технологические схемы переработки полезных ископаемых зависят, в первую очередь, от природных геологических факторов. Сам вопрос о целесообразности строительства предприятия решается исходя из количества запасов сырья в месторождении и его качественной характеристики. Иногда целесообразно строительство не всего горно-обогатительного комплекса, а только карьера или шахты (например, на базе среднего или мелкого по запасам месторождения), а затем транспортировка руды для обогащения на фабрики ближайшего крупного ГОКа.

Главными факторами, влияющими на выбор способа и системы разработки месторождений, являются:

- 1) глубина залегания полезного ископаемого;
- 2) форма и размеры рудных тел;
- 3) углы падения рудных тел;
- 4) крепость руд и вмещающих пород;
- 5) устойчивость руд и пород против обрушения, их тектоническая нарушенность;
- 6) распределение ценных компонентов в рудах;
- 7) ценность руды.

От глубины залегания, в основном, зависит способ разработки: подземный или открытый. Подробнее это было рассмотрено в

п. 3.2. На системы разработки значительно влияют морфология рудных залежей и элементы их залегания. Например, системы потолкоуступной разработки с открытым очистным пространством применяются для крутопадающих рудных залежей мощностью от 0,5 до 5 м при устойчивых рудах и боковых породах. Валовая добыча руды производится на месторождениях с равномерным оруденением. При неравномерном распределении оруденения и наличии безрудных и некондиционных участков внутри залежи решается вопрос о необходимости разработки месторождения или отдельных участков селективным способом.

Весьма важную роль при добыче полезных ископаемых играют гидрогеологические условия и инженерно-геологические свойства руд и пород. Обилие подземных вод, с одной стороны, заставляет проходить большое количество дренажных скважин и горных выработок, а с другой, приводит к образованию плывунов, суффозий, оползней. Угол откоса борта карьера определяется сцеплением и углом внутреннего трения в горных породах, и в соответствии с этим фактором увеличивается или уменьшается коэффициент вскрыши.

Способ обогащения руды зависит, в первую очередь, от минерального состава рудной фазы. Магнетитовые руды обогащаются почти всегда магнитными методами. Немагнитные, но тяжелые минералы (хромит, рутил, золото), отделяются от нерудных гравитационными методами, а сульфиды и ильменит – флотацией. Тонина помола руды зависит от размеров рудных зерен и сложности их сростания с нерудными минералами.

Из вышеизложенного ясно, что для проектирования горного предприятия необходимы исчерпывающие, достоверные и точные исходные геологические данные о месторождении и полезном ископаемом. Для проектирования необходим отчет о детальной разведке с подсчетом запасов. Гарантацией достоверности результатов разведки служит протокол заседания государственной экспертной комиссии по запасам.

Отчет о детальной разведке содержит три вида материалов: пояснительную записку, текстовые и табличные приложения и графические приложения. Главные разделы пояснительной записки:

- 1) географическое и экономическое описание района месторождения;
- 2) геологический очерк района: стратиграфия и тектоника, гидрогеология, полезные ископаемые;
- 3) геологическая характеристика месторождения: литология и стратиграфия, структура и тектоника, морфология рудных тел;
- 4) гидрогеологическая и инженерно-геологическая характеристики месторождения и вмещающих пород;

- 5) генезис месторождения;
- 6) качественная и технологическая характеристики полезного ископаемого;
- 7) кондиции, методика и результаты подсчета запасов полезного ископаемого;
- 8) степень разведанности и оценка перспектив месторождения.

Табличные и текстовые приложения включают таблицы определения площадей участков, подсчета средних мощностей, содержания, объемов блоков, запасов руды и металла, журналы опробования. Здесь же помещаются отчеты о гидрогеологических исследованиях, об определении физико-механических свойств руд и пород, о технологической оценке руд. Графические приложения содержат геологические карты района и месторождения, геологические погоризонтные планы и разрезы, колонки разведочных выработок.

Протокол заседания государственной экспертной комиссии состоит из трех частей. В первой дается краткая геологическая характеристика месторождения, во второй методика и результаты подсчета запасов, в третьей рекомендации комиссии по дальнейшему изучению перспектив месторождения и по наиболее полному и комплексному использованию полезного ископаемого.

Запасы, утвержденные государственной комиссией, если их экономически целесообразно обрабатывать с учетом развития науки и техники, называются балансовыми. Запасы, которые пока нецелесообразно добывать по экономическим и технологическим причинам, называются забалансовыми. Запасы внутри проектного контура добычи называются промышленными. Активные запасы – это часть промышленных запасов, отработка которых возможна без дополнительных капитальных затрат. Неактивные запасы (например, в охранных целиках) не могут быть отработаны до устранения причины, задерживающей их отработку.

В организациях, занимающихся проектированием горных предприятий, работают геологические отделы, которые на основе геологического отчета с подсчетом запасов оформляют проектные графические материалы и определяют исходные цифровые данные для проектирования карьера, шахты, фабрик и промплощадок цехов. Ими составляются слоевые планы месторождения для каждого эксплуатационного горизонта, оформляются геологические разрезы. Геологи и маркшейдеры проектных институтов подсчитывают промышленные запасы полезного ископаемого по горизонтам, участкам и эксплуатационным блокам и среднее качество сырья в целом и по промышленным сортам, производят расчет проектных норм потерь и разубоживания руды. Они определяют опти-

мальное расположение зданий и сооружений, оконтуривают и подсчитывают запасы в охранных целиках. Геологи непосредственно участвуют в разработке проектных решений о способе добычи, методах и схемах переработки полезных ископаемых. Они содействуют оптимальному комплексному использованию недр и охране окружающей среды.

7.2. Геологические основы прогноза количества и качества минерального сырья, усреднение руд на горном предприятии

Главнейшими прогнозируемыми показателями горнодобывающего производства являются количество и качество готовой продукции, а также ее себестоимость. Многоэтапный процесс производства делает эти показатели жестко взаимосвязанными.

Если физический смысл понятия КОЛИЧЕСТВО ясен, то КАЧЕСТВО – это сложное и многоликое понятие.

Качество минерального сырья – один из главных факторов, определяющих уровень технологических и экономических показателей работы предприятий. Снижение уровня и стабильности качества сырья ухудшает качество концентратов, металлов и других продуктов. Снижение качества полезного ископаемого повышает коэффициент (долю) его расхода на единицу готовой продукции, повышая ее себестоимость.

Качество полезного ископаемого – это совокупность его эксплуатационно-потребительских свойств [17]. Полезное ископаемое обладает различными свойствами, которые можно подразделить на полезные, вредные и малозначимые. Абсолютное качество включает в себя неограниченное количество параметров (свойств), отображающих любую характеристику продукции. Составной частью этой категории является потребительское качество, односторонне отражающее свойства минерального сырья с точки зрения потребляющего производства. Поэтому нельзя рассматривать качественную характеристику полезного ископаемого без учета развития производства, науки и техники.

Полезные свойства определяют основное содержание продукции. Это, например, содержание полезных компонентов в руде, удельная теплота сгорания угля, огнеупорность глины и т.п. Увеличение значения полезных свойств повышает цену продукта. Вредные свойства сырья усложняют технологический процесс его переработки, повышают себестоимость готового продукта. Это, например, фосфор в железных рудах, зольность угля и т.п. Вредные свойства продукта снижают его цену. К малозначимым показателям качества относятся свойства полезного ископаемого, кото-

рые не используются данным производством или влияние которых относительно невелико. Это, к примеру, содержание в руде шлакообразующих компонентов.

Качество руды в недрах определяется следующими признаками:

- 1) химическим составом: содержанием полезных и вредных компонентов;
- 2) минеральным составом;
- 3) структурой и текстурой;
- 4) физико-механическими свойствами;
- 5) прочими свойствами: объемная масса, влажность и т.п.;
- 6) обогатимостью.

Параметры потребительского качества сырья и готовой продукции регламентируются ГОСТами или техническими условиями. Условия формирования качества готовой продукции горного предприятия определяются следующими природными факторами:

- средними значениями природных параметров в недрах, статистическим и пространственным их распределением;
- изменением качества при добыче, которое зависит от технических средств и технологического режима добычи;
- изменением качества при обогащении, которое зависит от технологического режима обогащения, а также усреднения руд и концентратов.

Прогноз количественно-качественных показателей полезного ископаемого осуществляется в процессе планирования горных работ. В планировании участвуют специалисты планово-производственной, маркшейдерской и геологической служб.

Прогноз производится по следующим показателям: количество горной массы, количество полезного ископаемого и его качество в целом и по сортам. При обогащении руды технологи подсчитывают прогнозные выход, содержание полезных компонентов и их извлечение для каждого продукта обогащения.

Исходными документами для прогноза количества и качества полезного ископаемого являются рабочие графические материалы: промышленные слоевые планы, планы взрывов, где обобщаются данные опробования выработок и скважин.

Различаются перспективное планирование (на пятилетие), оперативное (на год, квартал) и текущее (на месяц, неделю, сутки). Основными этапами планирования, когда производится подробный расчет показателей и выбор оптимального варианта добычи, являются годовое и недельно-суточное. Принцип их, в основном, одинаков и отличаются они лишь количественными масштабами и исходными данными. Если при годовом планировании использу-

ются результаты разведки, то при текущем – результаты опробования буровзрывных скважин и горных выработок.

Для прогноза количества и качества полезного ископаемого и количества извлекаемой горной массы на промышленные планы наносят плановый контур добычи. Внутри его оконтуривают полезное ископаемое и внутри каждого блока графически выделяют участки, представленные различными сортами, или статистически подсчитывают выход каждого сорта. Определяют также средние качественные характеристики каждого сорта. Подсчет показателей осуществляют методом "по эксплуатационным слоям" при открытой или методом разрезов при подземной добыче.

После определения запасов и качества для отдельных блоков подсчитываются суммарные данные по горизонтам и в плановом контуре добычи. Общие плановые показатели должны быть не ниже директивных. В противном случае плановые цифры должны быть очень хорошо обоснованы. В плане добычи предусматривается такая очередность отработки отдельных участков, которая обеспечивает равномерное количество и стабильное качество сырья в течение всего планового периода.

Оптимальный вариант добычных работ определяется путем многовариантных подсчетов с использованием ЭВМ. На промежуточных фазах планирования производится корректировка первоначальных планов с учетом новых фактических материалов. Процесс стабилизации показателей качества при добыче и подаче полезного ископаемого с рудника на фабрику называется внутрирудничным усреднением.

Эффективность процесса усреднения характеризуется коэффициентом усреднения K_y

$$K_y = \sigma_o / \sigma_y, \quad (7.1)$$

где σ_o и σ_y – стандартные отклонения данного показателя для неусредненной руды и после усреднения. Коэффициент усреднения возрастает при увеличении числа добычных забоев. Наибольшая эффективность усреднения достигается при наличии усреднительного склада.

Параметр, по которому производится усреднение, выбирается по максимальному уровню его значимости для производства. При усреднении минерального сырья по данному параметру происходит также стабилизация значений других показателей, имеющих тесные корреляционные связи с первым.

В настоящее время на крупных ГОКах созданы автоматизированные системы управления производством (АСУП). Роль геологической службы при этом – в обеспечении системы подробной и

оперативной информацией о качестве полезного ископаемого в плановом контуре добычи. Задачи геолого-маркшейдерского обеспечения АСУ состоят в следующем:

- 1) создание интегрированных машинных массивов данных опробования или «цифровой модели месторождения» (ЦММ);
- 2) моделирование пространственного положения элементов горных выработок;
- 3) оценка показателей качества полезного ископаемого в плановом контуре добычи.

При текущем планировании горных работ задача выдачи из карьера (шахты) полезного ископаемого стабильного качества при различном его уровне в забоях практически сводится к определению объемов из каждого забоя. Если на руднике n забоев, в каждом из которых полезное ископаемое характеризуется m числом качественных признаков, то объемы добычи из каждого забоя V находятся путем решения системы линейных уравнений

$$\sum c_{ij}V_j = c_iQ \text{ при } Q = \sum_{j=1}^n V_j, \quad (7.2)$$

где c_{ij} – качественная характеристика полезного ископаемого в j -м забое по i -му компоненту; Q – производительность карьера (шахты).

Управление качеством полезного ископаемого в течение смены или суток, особенно при отсутствии промежуточного усреднительного склада, может осуществляться при наличии оперативного контроля качества сырья, поступающего из забоев на фабрику.

7.3. Учет движения запасов, оптимизация потерь и разубоживания

Движение запасов происходит при увеличении или уменьшении их общего количества, переводе запасов из одной категории в другую или из балансовых в забалансовые, или обратно. Увеличение запасов на балансе предприятия может происходить в результате разведки или при переводе их из забалансовых в балансовые при совершенствовании технологии переработки минерального сырья. Полезное ископаемое, добытое вне контура утвержденных запасов, также принимается на баланс, но одновременно списывается на добычу. Уменьшение цифры запасов происходит, прежде всего, в результате их погашения, которое определяется суммой добытого и потерянного при добыче полезного ископаемого. Кроме того, списание запасов с баланса производится при их неподтверждении, обнаруженном в результате разведочных или добычных работ. Уменьшение балансовых запасов происходит при переводе

их в забалансовые, если использование их становится экономически нецелесообразным.

Кроме изменения общей цифры запасов движение их может осуществляться при переводе из одной категории в другую. Чаще всего запасы переводят из низших категорий в высшие при сгущении сети разведочных выработок, при детальной разведке и до-разведке. Реже, почти всегда уже в результате добычных работ, выявляется высокая сложность геологического строения месторождения. Тогда по решению государственной экспертной комиссии месторождение переводится в высшую группу сложности, а запасы из высших категорий в низшие. Учитывается также передача запасов с баланса одной организации или одного юридического лица другому. Таким образом, существуют следующие статьи учета запасов:

- 1) добыча из недр;
- 2) потери при добыче в недрах;
- 3) добыча из недр и складирование в специальные отвалы;
- 4) переоценка в связи с пересмотром параметров подсчета запасов, в том числе кондиций и коэффициента извлечения;
- 5) утрата промышленного значения по технико-экономическим и горно-геологическим причинам;
- 6) неподтверждение запасов при добыче и геолого-разведочных работах;
- 7) передача для использования другому пользователю, изменение технических границ и другие причины.

Учет движения и списания неподтвердившихся запасов ведется совместно геологической и маркшейдерской службами согласно специальным инструкциям. Отчеты по движению запасов составляются ежегодно по сумме квартальных подсчетов. Списание неподтвердившихся запасов производится либо при погашении горизонтов, либо геологических блоков. Списание оформляется специальным актом с приложением всей графической и табличной документации. Утверждение акта производится с участием Госгортехнадзора и территориального геологического комитета. Если списывается более 20% общего количества запасов, то списание утверждается решением государственной экспертной комиссии.

Отчет предприятия о движении запасов состоит из пояснительной записки и таблицы движения запасов, где приводятся запасы по месторождениям, участкам, типам руд и категориям по состоянию на начало года, изменение запасов в результате добычи, потерь, разведки, переучета и переоценки, остатки запасов на конец года и первоначально утвержденные запасы. В пояснительной записке движение запасов описывается более детально, чем в

итоговой таблице, а также обобщаются результаты разведочных работ и основные технико-экономические результаты работы горного предприятия за отчетный год. Эти материалы направляются во Всероссийский геологический фонд и территориальный геологический комитет.

Потери полезного ископаемого происходят при оставлении части его в недрах (например, в охранных целиках). Они могут быть предусмотрены проектом отработки и не входить в состав промышленных запасов. Проектом предусматриваются потери, образующиеся за счет попадания полезного ископаемого в отвалы пустых пород при отработке приконтактных частей залежей. Размеры фактических потерь иногда не соответствуют проектным, так как форма контакта может быть более сложной, чем это представлялось по результатам разведки. Работники предприятий ведут постоянную борьбу с потерями, так как потери представляют собой прямой ущерб.

Засорение полезного ископаемого пустой породой происходит при перемешивании их в приконтактной части. Ширина этой зоны перемешивания зависит от типа технических средств, применяемых при добыче, а также от технологии взрывных работ. Играют большую роль форма и ориентировка контакта относительно забоя. Увеличение производительности добычи, например, за счет увеличения емкости ковша экскаватора, влечет за собой расширение зоны приконтактного перемешивания. Потери и разубоживание возрастают. Стремление к снижению потерь, т.е. добыча всей массы из зоны перемешивания, резко увеличивает разубоживание. И наоборот, снижение разубоживания часто влечет за собой увеличение потерь.

В книге Г.Г. Ломоносова «Формирование качества руды при открытой добыче» [17] подробно рассматривается механизм возникновения потерь и разубоживания, их зависимость от природных и технологических факторов, общее направление мероприятий по оптимизации их величин. Порядок операций при этом следующий:

- 1) выявление корреляционной связи между потерями и разубоживанием и вывод уравнения регрессии;
- 2) определение размеров экономического ущерба от потерь и разубоживания;
- 3) выбор оптимальных величин потерь и разубоживания при минимизации суммарного ущерба.

Учет потерь и разубоживания производится геологической и маркшейдерской службами ежеквартально, параллельно с учетом добычи и движения запасов. В некоторых случаях потери учитываются прямым путем, когда потерянное полезное ископаемое

остается в недрах и поддается непосредственному замеру и подсчету. Прямое определение потерь и разубоживания возможно и при отсутствии сортировки взорванной массы в приконтактной части (когда руда трудно визуальнo отличима от породы). Тогда по данным опробования буровзрывных скважин можно подсчитать объемы руды, отгруженной в отвал пустых пород, и пород, отгруженных вместе с рудой на фабрику.

При сортировке экскаватором руды от пустой породы в зоне приконтактного перемешивания потери и разубоживание можно подсчитать только косвенно. Для косвенного подсчета определяется количество добытой рудной массы D взвешиванием груженых транспортных средств, погашенные запасы полезного ископаемого в недрах B , содержание полезного компонента в добытом полезном ископаемом a , содержание полезного компонента в полезном ископаемом в недрах c и содержание его в разубоживающей породе b . Тогда потери Π определяются по формуле

$$\Pi = [1 - D(a - b)/B(c - b)] \cdot 100\%, \quad (7.3)$$

а разубоживание

$$P = [(c - a)/(c - b)] \cdot 100\%. \quad (7.4)$$

При косвенном определении потерь и разубоживания необходимо систематическое и точное определение исходных данных, так как оптимизация этих процессов и борьба с ними представляют собой большой резерв увеличения эффективности горного и обогатительного производства.

7.4. Комплексное использование недр, охрана окружающей среды

Система комплексного использования недр и охраны окружающей среды включает три главных направления:

- 1) извлечение из руды компонентов-примесей;
- 2) использование пород вскрыши и отходов обогатительного, металлургического и других производств;
- 3) рациональное использование земель, входящих в горный и земельный отводы, их восстановление (рекультивация) после добычи полезного ископаемого.

Эти вопросы решаются на всех этапах изучения месторождений минерального сырья и их эксплуатации. При проектировании рудника экономические показатели работы предприятия считаются с учетом использования элементов-примесей, отходов производства и рекультивации земель. Этим достигается большой положи-

тельный экономический эффект, позволяющий использовать руды с некондиционным содержанием отдельных компонентов.

Большинство руд, добываемых в настоящее время, являются комплексными, т.е. содержат не один, а несколько металлов и неметаллических полезных компонентов. Железные руды часто содержат легирующие примеси: марганец, кобальт, хром, никель, ванадий. Такие «вредные» примеси как сера и фосфор могут стать полезными, если использовать их для производства серной кислоты и минеральных удобрений.

Медные руды, связанные с сульфидами, являются железорудным сырьем и основным сырьем для получения серной кислоты, а также содержат примеси цинка, свинца, серебра, никеля, кобальта, золота, германия, галлия, селена, теллура. Подобный же ряд металлов несут в себе руды полиметаллических месторождений. Зола горючих полезных ископаемых часто содержит промышленные концентрации германия, ванадия, молибдена, галлия, циркония, редких земель. В калийных солях присутствуют рубидий и цезий.

Роль геологов в использовании полезных примесей заключается в том, что они первыми выявляют наличие тех или иных компонентов в руде и определяют их содержания и связь с теми или иными минералами руд, а также устанавливают наличие корреляционных зависимостей содержаний попутных компонентов от главных полезных компонентов руды. Геологи подсчитывают запасы полезных ископаемых и участвуют в разработке методов их извлечения из руд. Если эти работы не сделаны при разведке месторождения или проектировании горного предприятия, то рудничные геологи обязаны поставить вопрос о комплексном использовании сырья.

Породы вскрыши, особенно при открытой добыче, вывозятся в отвалы, которые со временем покрывают все большую площадь прежде полезных сельскохозяйственных угодий. В то же время существуют отдельные горные предприятия, занимающиеся добычей песка, гравия и скальных пород, использующихся в качестве балласта при строительстве дорог и наполнителей бетонов. Попутное использование вмещающих пород в качестве строительного камня позволяет увеличить предельный коэффициент вскрыши при открытой добыче и сохранить земли для сельского хозяйства. Использование хвостов обогащения производства и металлургических шлаков увеличивает доходы производства и уменьшает площади шлаковых отвалов и хвостохранилищ. На крупных горных предприятиях назначается геолог по вскрышным работам, который контролирует правильность отгрузки пустых пород для строительства.

При открытой разработке месторождений перед началом горных работ с поверхности горного отвода снимается плодородный слой и складывается в отдельный отвал. Геологи при этом наблюдают за правильностью зачистки и складирования плодородного слоя. Количественный учет осуществляет маркшейдер.

После открытых горных работ остаются карьеры, которые потом могут заполняться породами вскрыши, негодными для использования, или другими отходами. После восстановления первоначального рельефа поверхность бывшего горного отвода покрывается плодородным слоем и засеивается травой или лесными насаждениями. Если экономически нецелесообразна рекультивация карьеров до первоначального состояния, на месте их образуются водоемы для разведения рыбы, хранилища вод для технического использования.

По окончании подземной добычи возможность катастрофических явлений устраняется искусственным обрушением кровли очистных выработок, ограждаются зоны сдвижения поверхности. Если сдвижение недопустимо (например, если горные работы ведутся под жилыми массивами или промышленными предприятиями), применяются системы разработки с монолитной закладкой очистного пространства. В качестве закладочного материала применяются хвосты обогатительных фабрик, металлургические шлаки и отходы цементного производства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Альбов М.Н. Опробование месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975.
2. Альбов М.Н., Быбочкин А.М. Рудничная геология. – М.: Недра, 1973.
3. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. Внутрикарьерное усреднение железных руд. – М.: Недра, 1980.
4. Бастан П.П., Болошин Н.Н. Усреднение руд на горно-обогатительных предприятиях. – М.: Недра, 1981.
5. Борзунов В.М. Геолого-промышленная оценка месторождений нерудного сырья. – М.: Недра, 1971.
6. Горно-инженерная графика/ под. ред. Г.Г. Ломоносова. – М.: Недра, 1976.
7. Григорян С.В., Мягков В.Ф., Панов Ю.К. Опробование при поисках, разведке и разработке полезных ископаемых. – М.: Недра, 1988.
8. Гудков В.М., Васильев В.М., Николаев К.П. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. – М.: Недра, 1976.
9. Давид М. Геостатистические методы при оценке запасов руд. – Л.: Недра, 1980.
10. Ершов В.В. Геолого-маркшейдерское обеспечение управления качеством руд. – М.: Недра, 1986.
11. Ершов В.В. Основы горнопромышленной геологии. – М.: Недра, 1988.
12. Иванов Н.В. Новое направление в опробовании рудных месторождений. – М.: Госгеолтехиздат, 1963.
13. Каждан А.Б. Методологические основы разведки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1974.
14. Каждан А.Б., Гуськов О.И., Шиманский А.А. Математическое моделирование в геологии и разведке полезных ископаемых. – М.: Недра, 1979.
15. Козин В.З. Опробование и контроль технологических процессов обогащения. – М.: Недра, 1985.
16. Коц Г.А., Чернопяттов С.ф., Шманенков И.В. Технологическое опробование и картирование месторождений. – М.: Недра, 1980.
17. Ломоносов Г.Г. Формирование качества руд при открытой добыче. – М.: Недра, 1975.
18. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. – М.: Мир, 1971.
19. Погребницкий Е.О., Терновой В.И. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых. – Л.: Недра, 1974.
20. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых/ Е.О. Погребницкий, С.В. Парадеев, Г.С. Поротов и др. – М.: Недра, 1977.

21. Попов С.В. Основы рудничной геологии. – Свердловск: Изд-во УПИ, 1981.
22. Попов С.В. Геологическое обеспечение планирования горных работ. – Магнитогорск: МГМА, 1990.
23. Попов С.В. Параметры технологического опробования магнетитовых руд. – Магнитогорск: МГМА, 1996.
24. Поротов Г.С., Веселов Е.В., Ларионов А.Г. Методика изучения комплексных магнетитовых руд. – Л.: Недра, 1976.
25. Рудничная геология/ В.Ф. Мягков, А.М.Быбочкин, И.И.Бугаев и др. – М.: Недра, 1986.
26. Свирский М.А., Чумаченко Н.М., Афонин Б.А. Рудничная геология. – М.: Недра, 1987.
27. Хохряков В.С., Шелест А.Г. Проектирование карьеров. – М.: Недра, 1969.
28. Четвериков Л.И. Методологические основы опробования пород и руд. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1980.
29. Четвериков Л.И. Теоретические основы разведки недр. – М.: Недра, 1984.
30. СТО РосГео 09-001-98. Стандарт Российского геологического общества. Твердые полезные ископаемые и горные породы. Технологическое опробование в процессе геологоразведочных работ. Общие требования. М., 1998.
31. СТО РосГео 09-002-98. Стандарт Российского геологического общества. Твердые полезные ископаемые и горные породы. Геолого-технологическое картирование. Методы. М., 1998.
32. Сборник нормативных актов: «Об учете разведанных запасов полезных ископаемых, постановке их на баланс и списания с баланса запасов горнодобывающих предприятий». Вып. 10. М.: ВИЭМС, Росгеолфонд, 1998.
33. Баев Г.Х. Подход к оценке результатов геологоразведочных работ как элемента национального богатства // Минеральные ресурсы России. 2000, № 2.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Рабочая программа дисциплины.....	4
1. Предмет рудничной геологии, ее задачи.....	6
2. Структура и организация геологической службы на горном предприятии.....	7
3. Геолого-промышленная оценка месторождений полезных ископаемых.....	11
3.1. Классификация запасов полезных ископаемых.....	11
3.2. Кондиции для оконтуривания и подсчета запасов.....	13
3.3. Сложность геологического строения месторождений и степень разведанности.....	19
3.4. Методы подсчета запасов.....	20
4. Моделирование месторождений полезных ископаемых как объектов эксплуатации.....	23
4.1. Целевое назначение, виды моделирования.....	23
4.2. Графическое моделирование месторождений.....	23
4.3. Цифровая модель месторождения.....	33
4.4. Математические модели для обработки цифровых данных.....	33
4.5. О погрешностях определения среднего значения.....	37
5. Разведка месторождений полезных ископаемых. Характеристика отдельных этапов геологического изучения месторождений.....	39
5.1. Геологическая съемка и поиски.....	42
5.2. Предварительная разведка.....	43
5.3. Детальная разведка.....	44
5.4. Доразведка.....	45
5.5. Эксплуатационная разведка.....	46
6. Опробование полезных ископаемых при разведке и добыче.....	49
6.1. Цели, задачи и классификация опробования.....	49
6.2. Параметры опробования.....	50
6.3. Отбор и подготовка проб.....	59
6.4. Косвенные методы опробования.....	63
6.5. Геолого-технологическое картирование.....	66
7. Вопросы геологического обеспечения горных работ.....	69
7.1. Геологическое обеспечение проектирования.....	69
7.2. Геологические основы прогноза количества и качества минерального сырья, усреднение руд на горном предприятии	72
7.3. Учет движения запасов, оптимизация потерь и разубоживания....	75
7.4. Комплексное использование недр, охрана окружающей среды ...	78
Библиографический список	81

Учебное издание

ПОПОВ Сергей Владимирович

ЛЕКЦИИ ПО РУДНИЧНОЙ ГЕОЛОГИИ

Учебное пособие

Редактор Т.А. Колесникова
Компьютерная верстка Г.Н. Лапиной

Подписано в печать 31.10.2013. Рег. № 4-13. Формат 60х84/16. Бумага тип. № 1.
Плоская печать. Усл.печ.л. 5,25. Тираж 100 экз. Заказ



Издательский центр ФГБОУ ВПО «МГТУ»
455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Полиграфический участок ФГБОУ ВПО «МГТУ»

СВ ПОПОВ

**Л Е К Ц И И
П О Р У Д Н И Ч Н О Й
Г Е О Л О Г И И**

М А Г И Т О Г О Р С К