

**ПРИОРИТЕТНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «ОБРАЗОВАНИЕ»**

**РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ**

---

**В.В. ДЬЯКОНОВ, Н.В. ЖОРЖ**

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
РАЗВЕДКИ И ПОИСКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ  
НЕОСВОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

**Учебное пособие**

**Москва**

**2008**

**«Создание комплекса инновационных образовательных программ  
и формирование инновационной образовательной среды,  
позволяющих эффективно реализовывать государственные интересы РФ  
через систему экспорта образовательных услуг»**

Экспертное заключение –

доктор геолого-минералогических наук, профессор *А.Н. Роков*

**Дьяконов В.В., Жорж Н.В.**

Геоинформационные технологии разведки и поиска месторождений полезных ископаемых неосвоенных территорий: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 163 с.: ил.

Цели создания данного пособия: сформировать у студентов, обучающихся в магистратуре, системное представление о современных геоинформационных системах и технологии их применения в геологии; научить использовать геоинформационные системы соответственно поставленным задачам; привить навыки создания, мониторинга и анализа пространственных баз геологических данных на основе современных геоинформационных систем

Предполагается, что слушатель курса должен знать следующие предметы: математика, общая геология; структурная геология; инженерная графика; основы учения о полезных ископаемых.

Основы работы с ОС Windows: Основы работы со специализированными прикладными программами (Surfer, ArcGis, Micromine, Surpac).

***Учебное пособие выполнено в рамках инновационной образовательной программы Российского университета дружбы народов, направление «Комплекс экспортноориентированных инновационных образовательных программ по приоритетным направлениям науки и технологий», и входит в состав учебно-методического комплекса, включающего описание курса, программу и электронный учебник.***

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>РАЗДЕЛ 1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МПИ – ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЗАДАЧИ</b>	<b>4</b>
Тема 1. Системный подход к геологическому изучению недр	4
Тема 2. Классификация запасов месторождений полезных ископаемых	25
Тема 3. Геологическая съемка и поиски	37
<b>РАЗДЕЛ 2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКА МПИ В СЛАБОИЗУЧЕННЫХ РЕГИОНАХ</b>	<b>63</b>
Тема 4. Геологический метод	66
Тема 5. Минералогические методы	69
Тема 6. Геохимические методы	74
Тема 7. Геофизические методы	86
<b>РАЗДЕЛ 3. ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА ВЫЯВЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ</b>	<b>96</b>
Тема 8. Задачи оценки. Понятие о кондициях	96
Тема 9. Опробование	106
Тема 10. Оконтуривание тел	114
Тема 11. Подсчет запасов	121
<b>РАЗДЕЛ 4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МПИ</b>	<b>140</b>
Тема 12. Задачи и виды математического моделирования	140
Тема 13. Банки исходных данных при разведке МПИ	142
Тема 14. Вторичные (расчетные) банки данных	146
Тема 15. О моделировании месторождений	151
<b>ОПИСАНИЕ КУРСА И ПРОГРАММА</b>	<b>158</b>

# **РАЗДЕЛ 1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МПИ – ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ И ЗАДАЧИ**

## **Тема 1. Системный подход к геологическому изучению недр**

В зависимости от целей процесс геологического изучения недр подразделяется на три этапа и пять стадий:

Этап I. Работы общегеологического и минерагинического назначения

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

Этап II. Поиски и оценка месторождений

Стадия 2. Поисковые работы.

Стадия 3. Оценочные работы.

Этап III. Разведка и освоение месторождения

Стадия 4. Разведка месторождения.

Стадия 5. Эксплуатационная разведка.

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

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

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

Границы между стадиями условны и определяются масштабами ведущихся работ, рангами изучаемых площадей и требованиями к конечным результатам, завершающим работы каждой стадии. Информация, получаемая на каждой стадии, по полноте и достоверности должна быть достаточна для геологического и технико-экономического обоснования геологоразведочных работ последующих стадий, либо

освоения и проектирования разработки месторождения. В зависимости от конкретных условий отдельные стадии по решению недропользователя и в соответствии с лицензией на право пользования недрами, после согласования с заказчиком могут совмещаться с другими стадиями.

Виды, последовательность и комплексность проводимых на каждой стадии исследований определяются целями работ, природными условиями производства работ, степенью изученности объекта предыдущими исследованиями, видом полезного ископаемого и другими особенностями с учетом потребностей экономического и социального развития отдельных территорий и страны в целом.

### **Этап I. Работы общегеологического и минерагенического назначения**

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

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

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

Основными видами работ являются ранжированные по масштабам площадные геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические съемки (полистные, групповые, комплексные), доизучение ранее заснятых площадей, глубинное геологическое картирование, наземные и аэрогеофизические работы (гравиразведочные, магниторазведочные, электроразведочные, аэрогаммаспектрометрические), а также широкий комплекс специализированных работ: объемное, космофотогеологическое, аэрофотогеологическое, космоструктурное, геолого-минерагеническое, геохимическое картирование, тепловые, радиолокационные, многозональные и другие съемки, геолого-экономические, геоэкологические исследования и картографирование, мониторинг геологической среды, прогноз землетрясений, создание государственной сети опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин, геологическая съемка шельфа, работы в Мировом океане и Антарктике, картосоставительские, картоиздательские и другие работы, их научно-методическое и информационное обеспечение.

Виды, масштабы, последовательность и комплексность работ по региональному геологическому изучению недр определяются с учетом достигнутой степени геологической изученности, результатов предшествующих минерагенических построений и потребностей

социально-экономического развития отдельных территорий и Российской Федерации в целом.

Региональное геологическое изучение недр Российской Федерации включает функционально связанный комплекс площадных и профильных работ общегеологического и специального назначения на суше и континентальном шельфе России. Площадные работы проводятся в масштабах:

1:1 500 000 и мельче - сводное и обзорное геологическое картографирование;

1:1 000 000 (1:500 000) - мелкомасштабное геологическое картографирование;

1:200 000 (1:100 000) - среднемасштабное геологическое картографирование;

1:50 000 (1:25 000) - крупномасштабное геологическое картографирование.

Основной задачей сводного и обзорного геологического картографирования масштаба 1:1 500 000 и мельче является составление карт и атласов, обобщающих геологическую информацию о геологическом строении и минерагении крупных территорий, осуществление широких межрегиональных и глобальных геологических построений и сопоставлений.

В состав работ входит анализ и обобщение имеющихся (преимущественно масштаба 1:1 000 000 и 1:200 000) материалов по геологическому строению и минерагении исследуемой территории, при необходимости выполняются минимальные объемы полевых исследований.

Конечный результат - сводные и обзорные карты геологического содержания, включая прогнозно-минерагенические, геологические атласы,

геолого-геофизические и другие профили, их цифровые и электронные модели.

Основной задачей мелкомасштабного (1:1 000 000 1:500 000) картографирования является комплексное геологическое изучение суши и континентального шельфа Российской Федерации с целью создания Государственных карт геологического содержания масштаба 1:1 000 000 в аналоговой и цифровой формах с электронными базами данных, формирующие банк фундаментальной геологической, гидрогеологической, геофизической, геохимической, минерагенической, геолого-экономической, эколого-геологической и другой информации, обеспечивающей разработку и реализацию стратегических вопросов изучения и рационального использования недр, развитие геологической науки, знаний о геологическом строении и моделях прогнозируемых типов месторождений, гидрогеологических и инженерно-геологических условиях, нефтегазоносном и минерагеническом потенциале суши и континентального шельфа, динамике геологических процессов и явлений.

Объектами изучения являются территории отдельных номенклатурных листов, крупные геолого-структурные блоки, минерагенические провинции и субпровинции, административные и экономические районы, глубинные части земной коры и верхней мантии, континентальный шельф, исключительная экономическая зона Российской Федерации.

Основными видами работ этого масштаба являются геологические, аэрокосмические, геодезические, геохимические, гидрогеологические, инженерно-геологические, эколого-геологические съемки суши и континентального шельфа РФ, геодинамические, прогнозно-минерагенические и другие специальные и тематические исследования. Они выполняются самостоятельно или в различном сочетании в зависимости от решаемых задач, геологического строения и

минерагенического потенциала региона, степени его изученности, качества имеющейся геологической, геофизической и другой информации.

Конечным результатом мелкомасштабного геологического картографирования территории РФ являются Государственные карты геологического содержания масштаба 1:1 000 000. Они создаются на основе обобщения всех ранее полученных материалов геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических, эколого-геологических и других съемок масштаба 1:200 000 и крупнее с использованием геофизических, геохимических, аэрокосмических и других данных, а также материалов по геотраверсам, глубоким и сверхглубоким скважинам и геодинамическим полигонам.

Среди Государственных карт геологического содержания масштаба 1:1 000 000 важнейшая роль принадлежит комплектам полистной Государственной геологической карты Российской Федерации, включающей в качестве обязательных карту дочетвертичных образований, карту четвертичных образований и карту полезных ископаемых с качественной характеристикой ресурсов.

Основной задачей среднемасштабного геологического картографирования является комплексное геологическое изучение суши и континентального шельфа Российской Федерации с составлением Государственных карт геологического содержания (геологических, геолого-экономических, гидрогеологических и др.) масштаба 1:200 000 в аналоговой и цифровой формах с базами данных, которые в совокупности выступают в качестве основного источника информации для определения закономерностей формирования и размещения месторождений полезных ископаемых, локального прогноза и предварительной оценки выявленных перспективных площадей и прогнозируемых месторождений минерального сырья.

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

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

В состав региональных исследований масштаба 1:200 000 (1:100 000) входят картографические работы, геологическая (ГС), гидрогеологическая, инженерно-геологическая съемки, прогнозно-минерагенические, геолого-экономические и эколого-геологические исследования, геологическое (ГДП), гидрогеологическое (ГГД) доизучение ранее заснятых площадей, объемное (ОПС), глубинное (ГПС) геологическое картирование и другие виды работ. Гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемки и гидрогеологическое доизучение ранее заснятых площадей могут комплексироваться с геолого-экологическими и соответствующими видами геологических съемок. Работы этого масштаба проводятся в комплексе с опережающими и сопровождающими аэрокосмическими, геофизическими, геохимическими съемками, геоморфологическими и другими специальными исследованиями, которые в зависимости от степени изученности территории и решаемых задач могут выполняться самостоятельно или в различных сочетаниях.

При этом полистные и групповые геологические, гидрогеологические съемки, геологические съемки шельфа и другие работы масштаба 1:200 000 проводятся на площадях, ранее не изучавшихся в данном масштабе.

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

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

Для хорошо изученных районов, обеспеченных геологическими и другими специализированными картами масштаба 1:50 000, Государственные карты геологического содержания масштаба 1:200 000 составляются преимущественно камеральным путем с минимальным объемом полевых рекогносцировочных и других работ, нацеленных на решение конкретных геологических задач, в том числе задач локального прогноза месторождений полезных ископаемых.

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

Конечным результатом региональных исследований масштаба 1:200 000 является создание полистных Государственных карт геологического содержания масштаба 1:200 000. В состав комплекта Госгеолкарты-200 в качестве обязательных включаются геологическая карта дочетвертичных образований, карта четвертичных отложений, карта полезных ископаемых и закономерностей их размещения; в районах двух- и трехъярусного строения - геологическая карта погребенной поверхности.

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

Основной задачей крупномасштабного геологического картографирования является геологическое изучение недр в масштабе 1:50 000 (1:25 000) с целью прогноза и выявления локальных площадей и структур, перспективных для обнаружения месторождений полезных ископаемых, обоснования эколого-геологических и других мероприятий по охране окружающей среды.

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

В состав работ масштаба 1:50 000 входят геологические (ГС-50, ГДП-50, ГГК-50), гидрогеологические и эколого-геологические съемки, опережающие и сопровождающие их дистанционные и наземные геофизические, геохимические, геоморфологические, прогнозно-минерагенические и другие исследования, которые могут выполняться самостоятельно в порядке специализированного изучения или доизучения ранее заснятых площадей.

При геологосъемочных работах этого масштаба производятся изучение участков распространения полезных ископаемых, установление геологической природы выявленных геофизических и геохимических

аномалий, выделение новых или уточнение параметров известных рудных полей и других прогнозных площадей и перспективных участков с оценкой прогнозных ресурсов.

Конечным результатом регионального геологического изучения недр масштаба 1:50 000 являются комплект обязательных и специальных геологических карт, комплексная оценка перспектив изученной территории с уточнением прогнозных ресурсов категории  $P_3$ , выделением рудных полей и угленосных площадей, оценкой по ним прогнозных ресурсов категорий  $P_2$ . Даются рекомендации для постановки поисковых работ, а также оценка состояния и прогноз изменений геологической среды.

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

## **Этап II. Поиски и оценка месторождений**

Поиски и оценка проводятся с целью прогноза, выявления и предварительной оценки месторождений полезных ископаемых, которые

по своим геологическим, экологическим условиям и технико-экономическим показателям пригодны для рентабельного освоения.

На этапе II выделяются стадии:

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

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

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

### **Стадия 2. Поисковые работы.**

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

работ и обработки их результатов, а также на площадях распространения техногенных образований как возможного источника минерального сырья.

В зависимости от сложности геологического строения территории, формационного типа прогнозируемого оруденения и глубинности исследований поиски могут проводиться в масштабах 1:200 000-1:10 000. Они включают комплекс геолого-минералогических, геофизических, геохимических и других видов и методов исследований с проходкой поисковых скважин и поверхностных горных выработок. Для поисков скрытых и погребенных месторождений используется глубокое бурение в сочетании со скважинными геофизическими и геохимическими исследованиями. Рациональный комплекс методов формируется на основе особенностей геологического строения объекта, ландшафтно-геохимических условий производства работ и накопленного в отрасли опыта применения прогнозно-поисковых комплексов для различных видов полезных ископаемых и промышленных типов месторождений.

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

Основным результатом поисковых работ является геологически обоснованная оценка перспектив исследованных площадей. На выявленных проявлениях полезных ископаемых оцениваются прогнозные ресурсы категорий  $P_2$  и  $P_1$ . По материалам поисковых работ составляются геологические карты опосредованных участков в соответствующем масштабе и разрезе к ним, карты результатов геофизических и

геохимических исследований, отражающие геологическое строение и закономерности размещения продуктивных структурно-вещественных комплексов. В отчете приводятся основные результаты работ, включающие геолого-экономическую оценку выявленных объектов по укрупненным показателям и рекомендации о целесообразности и очередности дальнейшего проведения работ.

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

### **Стадия 3. Оценочные работы.**

Оценочные работы проводятся на выявленных и положительно оцененных проявлениях полезных ископаемых. Для оконтуривания площади и изучения геолого-структурных особенностей потенциально промышленного месторождения проводится геологическая съемка и составляется геологическая карта масштаба 1:25 000-1:10 000 для крупных и масштаба 1:5000-1:1000 для сложных и небольших месторождений. Геологическая съемка сопровождается детальными минералогическими, петрографическими, геофизическими и геохимическими исследованиями. Изучение рудовмещающих структурно-вещественных комплексов, вскрытие и прослеживание тел полезных ископаемых осуществляются с поверхности канавами, шурфами, поисково-картировочными скважинами.

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

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

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

В скважинах и горных выработках осуществляется комплекс гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических и других наблюдений и исследований в объемах, достаточных для обоснования способа вскрытия и разработки месторождения, определения источников водоснабжения, возможных водопритоков в горные выработки и очистное пространство. Определяются факторы, негативно влияющие на показатели горного предприятия. Дается характеристика экологических условий производства добычных работ и оценка их влияния на природную среду. При оценке гидрогеологических, инженерно-геологических, экологических и других природных условий разработки месторождения используются соответствующие показатели известных и отрабатываемых в районе месторождений.

В результате оценочных работ степень геологической изученности месторождения, качества, вещественного состава и технологических условий эксплуатации, должна обеспечить оценку промышленного значения месторождения с подсчетом всех или большей части запасов по категории С<sub>2</sub>. По менее детально изученной части месторождения оцениваются количественно и качественно прогнозные ресурсы категории

$P_1$  с указанием границ, в которых проведена их оценка. Достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезных ископаемых подтверждается на участках детализации с подсчетом разведанных запасов категории  $C_1$ .

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

После завершения стадии "Оценочные работы" разрабатываются кондиции и составляется технико-экономический доклад (ТЭД), в котором дается экономически обоснованная предварительная оценка промышленной ценности месторождения, определяется целесообразность передачи объекта в разведку и освоение. Отчет с результатами подсчета запасов, включая обоснование "временных" кондиций, и технико-экономический доклад представляются на государственную геологическую, экономическую и экологическую экспертизу. Содержание отчета и ТЭО кондиций, а также перечень обязательных текстовых и графических приложений, определяются инструкциями по содержанию, оформлению и порядку представления на государственную экспертизу материалов ТЭО (технико-экономическое обоснование) кондиций и подсчета запасов. Заключение государственной экспертизы является основанием для постановки запасов на государственный учет.

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

### **Этап III. Разведка и освоение месторождения**

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

Стадия 4. Разведка месторождения;

Стадия 5. Эксплуатационная разведка.

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

#### **Стадия 4. Разведка месторождения.**

Объектом геологического изучения при разведочных работах является закрепленная лицензией в виде горного отвода часть недр, включающая

полностью или частично месторождение полезных ископаемых. По целям и совокупности основных решаемых задач разведочные работы данной стадии подразделяются:

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

При разведочных работах завершается изучение геологического строения месторождения с поверхности с составлением на инструментальной основе геологической карты. В зависимости от промышленного типа месторождения, его размеров, сложности строения, характера распределения и степени изменчивости тел полезных ископаемых геологическая съемка проводится в масштабе 1:10 000-1:1000 с применением комплекса геофизических и геохимических методов исследований. Приповерхностные части месторождения вскрываются горными выработками (канавы, траншеи, шурфы) и мелкими скважинами. Все выходы тел полезных ископаемых прослеживаются и опробуются с детальностью, позволяющей выявить формы, строение и условия их залегания, установить интенсивность проявления зоны окисления, вещественный состав и технологические свойства окисленных и смешанных руд.

Разведка месторождений на глубину проводится скважинами до горизонтов, разработка которых экономически целесообразна. Месторождения сложного строения разведываются скважинами в сочетании с подземными горными выработками. В случае отработки месторождения

подземным способом расположение разведочных горных выработок должно обеспечивать максимально возможное их использование при эксплуатации.

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

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

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

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

По результатам разведочных работ разрабатывается технико-экономическое обоснование (ТЭО) постоянных разведочных кондиций, производится подсчет запасов основных и попутных полезных ископаемых и компонентов по категориям в соответствии с группировкой месторождений по сложности строения, дается детальная экономическая

оценка промышленной ценности месторождения. Достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого подтверждается на представительных для всего месторождения участках детализации с квалификацией запасов на них по более высоким категориям разведанности.

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

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

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

- выявления в процессе освоения месторождения дополнительных природных и экономических факторов, существенно влияющих на оценку его промышленного значения и нарушающих условия лицензирования;
- значительного изменения количества и качества запасов по сравнению с ранее утвержденными.

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

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

### **Стадия 5. Эксплуатационная разведка.**

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

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

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

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

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

В процессе разработки месторождения при резком отклонении в отдельных частях месторождения геологических, горно-технических, технологических и иных условий отработки, принятых в разведочных кондициях, а также в связи с изменением рыночной конъюнктуры на продукцию горного предприятия или других факторов, недропользователь имеет право разработать ТЭО эксплуатационных кондиций. Эксплуатационные кондиции разрабатываются на ограниченный временной период и должны быть привязаны к конкретным частям тел полезного ископаемого (горизонтам, этажам, уступам и т.д.). ТЭО эксплуатационных кондиций и пересчитанные по этим кондициям запасы должны быть согласованы с местными органами управления, Госгортехнадзором, органами, выдавшими лицензию, и в необходимых случаях пройти государственную экспертизу.

На протяжении всего этапа разведки и освоения месторождения ведется учет движения разведанных запасов по рудным телам, блокам и месторождению в целом с оценкой изменений запасов в результате их прироста, погашения, пересчета, переоценки или списания с баланса горного предприятия. Информация по движению запасов, добыче, потерях

и обеспеченности предприятия разведанными запасами передается в установленном порядке в федеральный и территориальный фонды геологической информации.

## **Тема 2. Классификация запасов месторождений полезных ископаемых**

Запасы полезных ископаемых подсчитываются в недрах в соответствии с экономически обоснованными параметрами кондиций, подтвержденными государственной экспертизой, без введения поправок на потери и разубоживание при добыче, обогащении и переработке концентратов.

В комплексных месторождениях подлежат обязательному подсчету и учету запасы основных и совместно с ними залегающих полезных ископаемых, а также содержащихся в них основных и попутных полезных компонентов (металлов, минералов, химических элементов и их соединений), целесообразность промышленного использования которых определена кондициями для подсчета запасов. При этом запасы попутных компонентов, накапливающихся при обогащении в товарных концентратах или продуктах металлургического передела, подсчитываются и учитываются как в недрах, так и в извлекаемых вышеназванных продуктах.

Качество полезных ископаемых изучается с учетом необходимости их комплексного использования, технологии переработки, требований государственных и отраслевых стандартов и технических условий. Одновременно с этим определяются содержания попутных ценных, токсичных и вредных компонентов, формы их нахождения и особенности распределения в продуктах обогащения и заводского передела.

Подсчет и учет запасов и оценка прогнозных ресурсов полезных ископаемых производятся в единицах массы или объема.

Раздельному государственному учету подлежат запасы полезных ископаемых разрабатываемых, вводимых в эксплуатацию, намечаемых к разработке и разведываемых месторождений и запасы резервных разведанных и резервных оцененных месторождений.

Применение настоящей Классификации к конкретным видам полезных ископаемых определяется нормативно-методическими документами, утвержденными в установленном порядке.

#### ❖ **Группы месторождений (участков) по сложности геологического строения**

Необходимая и достаточная степень разведанности запасов твердых полезных ископаемых определяется в зависимости от сложности геологического строения месторождений, которые подразделяются по данному признаку на следующие группы:

*Первая группа.* Месторождения (участки) простого геологического строения с крупными и весьма крупными, реже средними по размерам телами полезных ископаемых с ненарушенным или слабонарушенным залеганием, характеризующимися устойчивыми мощностью и внутренним строением, выдержанным качеством полезного ископаемого, равномерным распределением основных ценных компонентов.

Особенности строения месторождений (участков) определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий А, В, С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub>.

*Вторая группа.* Месторождения (участки) сложного геологического строения с крупными и средними по размерам телами с нарушенным залеганием, характеризующимися неустойчивыми мощностью и внутренним строением, либо невыдержанным качеством полезного ископаемого и неравномерным распределением основных ценных компонентов. Ко второй группе относятся также месторождения углей,

ископаемых солей и других полезных ископаемых простого геологического строения, но со сложными или очень сложными горно-геологическими условиями разработки.

Особенности строения месторождений (участков) определяют возможность выявления в процессе разведки запасов категорий В, С<sub>1</sub> и С<sub>2</sub>.

*Третья группа.* Месторождения (участки) очень сложного геологического строения со средними и мелкими по размерам телами полезных ископаемых с интенсивно нарушенным залеганием, характеризующимися очень изменчивыми мощностью и внутренним строением либо значительно невыдержанным качеством полезного ископаемого и очень неравномерным распределением основных ценных компонентов.

Запасы месторождений этой группы разведываются преимущественно по категориям С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub>.

*Четвертая группа.* Месторождения (участки) с мелкими, реже средними по размерам телами с чрезвычайно нарушенным залеганием либо характеризующиеся резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения, крайне неравномерным качеством полезного ископаемого и прерывистым гнездовым распределением основных ценных компонентов. Запасы месторождений этой группы разведываются преимущественно по категории С<sub>2</sub>.

При отнесении месторождений к той или иной группе могут использоваться количественные показатели оценки изменчивости основных свойств оруденения, характерные для каждого конкретного вида полезного ископаемого.

## ❖ Группы месторождений по степени их изученности

Месторождения полезных ископаемых по степени их изученности подразделяются на:

- разведанные;
- оцененные.

К *разведанным* относятся месторождения, запасы которых, их качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки изучены по скважинам и горным выработкам с полнотой, достаточной для технико-экономического обоснования решения о порядке и условиях их вовлечения в промышленное освоение, а также о проектировании строительства или реконструкции на их базе горнодобывающего предприятия.

Разведанные месторождения по степени изученности должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивается возможность квалификации запасов по категориям, соответствующим группе сложности геологического строения месторождения;
- вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования рациональной технологии их переработки с комплексным извлечением полезных компонентов, имеющих промышленное значение, и определение направления использования отходов производства или оптимального варианта их складирования или захоронения;
- запасы других совместно залегающих полезных ископаемых, включая породы вскрыши и подземные воды, с содержащимися в них компонентами, отнесенные на основании кондиций к балансовым,

изучены и оценены в степени, достаточной для определения их количества и возможных направлений использования;

- гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки месторождения с учетом требований природоохранного законодательства и безопасности горных работ;
- достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого, качестве и количестве запасов подтверждены на представительных для всего месторождения участках детализации, размер и положение которых определяются недропользователями в каждом конкретном случае в зависимости от геологических особенностей полезного ископаемого;
- подсчетные параметры кондиций установлены на основании технико-экономических расчетов, позволяющих определить масштабы и промышленную значимость месторождения с необходимой степенью достоверности;
- рассмотрено возможное влияние разработки месторождения на окружающую среду и даны рекомендации по предотвращению или снижению прогнозируемого уровня отрицательных экологических последствий.

К *оцененным* относятся месторождения, запасы которых, их качество, технологические свойства, гидрогеологические и горнотехнические условия разработки изучены в степени, позволяющей обосновать целесообразность дальнейшей разведки и разработки.

Оцененные месторождения по степени изученности должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивается возможность квалификации всех или большей части запасов по категории  $C_2$ ;
- вещественный состав и технологические свойства полезного ископаемого оценены с полнотой, необходимой для выбора принципиальной технологической схемы переработки, обеспечивающей рациональное и комплексное использование полезного ископаемого;
- гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические и другие природные условия изучены с полнотой, позволяющей предварительно охарактеризовать их основные показатели;
- достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезного ископаемого подтверждены на участках детализации;
- подсчетные параметры кондиций установлены на основании укрупненных технико-экономических расчетов или приняты по аналогии с месторождениями, находящимися в сходных географических и горно-геологических условиях;
- рассмотрено и оценено возможное влияние отработки месторождения на окружающую среду.

#### ❖ Категории запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых

Запасы твердых полезных ископаемых по степени разведанности подразделяются на категории А, В,  $C_1$   $C_2$ .

Прогнозные ресурсы по степени их обоснованности подразделяются на категории  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$ .

Запасы **категории А** выделяются на участках детализации разведываемых месторождений первой группы сложности и должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- установлены размеры, форма и условия залегания тел полезного ископаемого, изучены характер и закономерности изменчивости их морфологии и внутреннего строения, выделены и оконтурены безрудные и некондиционные участки внутри тел полезного ископаемого, при наличии разрывных нарушений установлены их положение и амплитуда смещения;
- определены природные разновидности, выделены и оконтурены промышленные (технологические) типы и сорта полезного ископаемого, установлены их состав и свойства; качество выделенных промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого охарактеризовано по всем предусмотренным промышленностью параметрам;
- изучены распределение и формы нахождения в минералах и продуктах переделов полезного ископаемого ценных и вредных компонентов;
- контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по скважинам и горным выработкам по результатам их детального опробования.

Запасы **категории В** выделяются на участках детализации разведываемых месторождений первой и второй групп и должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- установлены размеры, основные особенности и изменчивость формы и внутреннего строения, условия залегания тел полезного ископаемого, пространственное размещение внутренних безрудных и некондиционных участков; при наличии крупных разрывных нарушений установлены их положение и амплитуды смещения,

охарактеризована возможная степень развития малоамплитудных нарушений;

- определены природные разновидности, выделены и при возможности оконтурены промышленные (технологические) типы полезного ископаемого; при невозможности оконтуривания установлены закономерности пространственного распределения и количественного соотношения промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого; качество выделенных промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого охарактеризовано по всем предусмотренным кондициями параметрам;
- определены минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов;
- контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по результатам опробования скважин и горных выработок с включением в него ограниченной зоны экстраполяции, обоснованной геологическими критериями, данными геофизических и геохимических исследований.

Запасы **категории С<sub>1</sub>** составляют основную часть запасов разведываемых месторождений первой, второй и третьей групп, а также выделяются на участках детализации месторождений четвертой группы сложности и должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- выяснены размеры и характерные формы тел полезного ископаемого, основные особенности условий их залегания и внутреннего строения, оценены изменчивость и возможная прерывистость тел полезного ископаемого, а для пластовых месторождений и месторождений строительного и облицовочного камня также наличие площадей развития малоамплитудных тектонических нарушений;
- определены природные разновидности и промышленные (технологические) типы полезного ископаемого, установлены общие

закономерности их пространственного распространения и количественные соотношения промышленных (технологических) типов и сортов полезного ископаемого, минеральные формы нахождения полезных и вредных компонентов; качество выделенных промышленных (технологических) типов и сортов охарактеризовано по всем предусмотренным кондициями параметрам;

- контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций по результатам опробования скважин и горных выработок с учетом данных геофизических и геохимических исследований и геологически обоснованной экстраполяции.

Запасы **категории С<sub>2</sub>** выделяются при разведке месторождений всех групп сложности, а на месторождениях четвертой группы составляют основную часть запасов и должны удовлетворять следующим требованиям:

- размеры, форма, внутреннее строение тел полезного ископаемого и условия их залегания оценены по геологическим и геофизическим данным и подтверждены вскрытием полезного ископаемого ограниченным количеством скважин и горных выработок;
- контур запасов полезного ископаемого определен в соответствии с требованиями кондиций на основании опробования ограниченного количества скважин, горных выработок, естественных обнажений или по их совокупности, с учетом данных геофизических и геохимических исследований и геологических построений, а также путем геологически обоснованной экстраполяции параметров, определенных при подсчете запасов более высоких категорий.

Запасы комплексных руд и содержащихся в них основных компонентов подсчитываются по одним и тем же категориям. Запасы попутных компонентов, имеющих промышленное значение, подсчитываются в контурах подсчета запасов основных компонентов и

оцениваются по категориям в соответствии со степенью их изученности, характером распределения и формами нахождения.

На разрабатываемых месторождениях вскрытые, подготовленные и готовые к выемке, а также находящиеся в охранных целиках горно-капитальных и горно-подготовительных выработок запасы полезных ископаемых подсчитываются отдельно с подразделением по группам и категориям в соответствии со степенью их геологической изученности.

При разделении запасов полезных ископаемых по категориям в качестве дополнительного классификационного показателя могут использоваться количественные и вероятностные оценки точности и достоверности определения основных подсчетных параметров.

Прогнозные **ресурсы категории  $P_1$**  учитывают возможность выявления новых рудных тел полезного ископаемого на рудопроявлениях, разведанных и разведываемых месторождениях. Для количественной оценки ресурсов этой категории используются геологически обоснованные представления о размерах и условиях залегания известных тел.

Оценка ресурсов основывается на результатах геологических, геофизических и геохимических исследований площадей возможного нахождения полезного ископаемого, а также на материалах одиночных структурных и поисковых скважин и геологической экстраполяции структурных, литологических, стратиграфических и других особенностей, установленных на более изученной части месторождения и определяющих площади и глубину распространения полезного ископаемого, представляющего промышленный интерес.

Прогнозные **ресурсы категории  $P_2$**  учитывают возможность обнаружения в бассейне, рудном районе, узле, поле новых месторождений полезных ископаемых, предполагаемое наличие которых основывается на положительной оценке выявленных при крупномасштабной геологической съемке и поисковых работах проявлений полезного ископаемого, а также

геофизических и геохимических аномалий, природа и возможная перспективность которых установлены единичными выработками. Количественная оценка ресурсов, представления о размерах предполагаемых месторождений, минеральном составе и качестве руд основываются на аналогиях с известными месторождениями того же формационного (генетического) типа. Прогнозные ресурсы оцениваются до глубин, доступных для эксплуатации при современном и возможном в ближайшей перспективе уровне техники и технологии разработки месторождений. Возможное изменение параметров кондиций по сравнению с аналогичными месторождениями должно иметь соответствующее обоснование.

Прогнозные **ресурсы категории Р<sub>3</sub>** учитывают лишь потенциальную возможность открытия месторождений того или иного вида полезного ископаемого на основании благоприятных магматических, стратиграфических, литологических, тектонических и палеогеографических предпосылок, выявленных в оцениваемом районе при средне- и мелкомасштабном региональном геологическом изучении недр, дешифрировании космических снимков, а также при анализе результатов геофизических и геохимических исследований. Количественная оценка ресурсов этой категории производится без привязки к конкретным объектам по предположительным параметрам на основе аналогии с более изученными районами, площадями, бассейнами, где имеются разведанные месторождения того же генетического типа.

Количественная оценка прогнозных ресурсов производится комплексно. При этом используются существующие на момент оценки требования к качеству и технологическим свойствам полезных ископаемых аналогичных месторождений с учетом возможных изменений этих требований в ближайшей перспективе.

❖ **Группы запасов твердых полезных ископаемых по их экономическому значению**

Запасы твердых полезных ископаемых и содержащихся в них полезных компонентов по их экономическому значению подразделяются на две основные группы, подлежащие отдельному подсчету и учету:

- балансовые (экономические);
- забалансовые (потенциально экономические).

**Балансовые** (экономические) запасы. Они подразделяются на:

а) запасы, извлечение которых на момент оценки согласно технико-экономическим расчетам экономически эффективно в условиях конкурентного рынка при использовании техники и технологии добычи и переработки сырья, обеспечивающих соблюдение требований по рациональному использованию недр и охране окружающей среды;

б) запасы, извлечение которых на момент оценки согласно технико-экономическим расчетам не обеспечивает экономически приемлемую эффективность их разработки в условиях конкурентного рынка из-за низких технико-экономических показателей, но освоение которых становится экономически возможным при осуществлении со стороны государства специальной поддержки недропользователя в виде налоговых льгот, субсидий и т.п. (граничноэкономические или пограничные запасы).

**Забалансовые** (потенциально экономические) запасы. К ним относятся:

а) запасы, отвечающие требованиям, предъявляемым к балансовым запасам, но использование которых на момент оценки невозможно по горно-техническим, правовым, экологическим и другим обстоятельствам;

б) запасы, извлечение которых на момент оценки согласно технико-экономическим расчетам экономически нецелесообразно

вследствие низкого содержания полезного компонента, малой мощности тел полезного ископаемого или особой сложности условий их разработки или переработки, но использование которых в ближайшем будущем может стать экономически эффективным в результате повышения цен на минерально-сырьевые ресурсы, или при техническом прогрессе, обеспечивающем снижение издержек производства.

Забалансовые запасы подсчитываются и учитываются в случае, если технико-экономическими расчетами установлена возможность их сохранения в недрах для последующего извлечения или целесообразность попутного извлечения, складирования и сохранения для использования в будущем.

При подсчете забалансовых запасов производится их подразделение в зависимости от причин отнесения к забалансовым (экономических, технологических, горно-технических, экологических и т.п.).

Оценка балансовой принадлежности запасов полезных ископаемых производится на основании специальных технико-экономических обоснований, подтвержденных государственной экспертизой. В этих обоснованиях должны быть предусмотрены наиболее эффективные способы разработки месторождений, дана их стоимостная оценка и предложены параметры кондиций, обеспечивающие максимально полное и комплексное использование запасов с учетом требований природоохранительного законодательства.

### **Тема 3. Геологическая съемка и поиски**

#### **3.1. Геологические критерии поисков**

Месторождения полезных ископаемых и в особенности промышленные месторождения встречаются в земной коре достаточно редко. Однако при всей исключительности месторождений они не

являются случайными образованиями. Формирование месторождений - это отдельные, в ряде случаев весьма незначительные по масштабам эпизоды в общем комплексе сложных процессов эволюции земной коры. Но они подчиняются строгим закономерностям. Выявление, изучение закономерностей образования и размещения месторождений - основа поисковых и разведочных работ.

Научно обоснованное проведение поисковых работ возможно при учете совокупности геологических данных, определяющих возможность обнаружения тех или иных месторождений. Поисковые критерии, на основе которых оцениваются перспективы изучаемых площадей и проводятся поисковые работы, делятся на две группы: геологические критерии поисков и поисковые признаки.

Геологические закономерности, контролирующие размещение месторождений, составляют основу геологических критериев.

Геологическое положение различных типов месторождений определяется комбинацией условий, благоприятных для их образования, которые имели место в период формирования месторождений. Таким образом, геологические критерии поисков - это такие элементы и особенности геологического строения данного участка земной коры, которые определяют существование условий и возможностей образования месторождений определенного типа в его пределах в геологическом прошлом. Геологические критерии обуславливают принципиальную теоретическую возможность протекания процессов рудообразования; наличие их характеризует перспективность данного участка на обнаружение месторождений.

Известно, что все месторождения одного промышленного типа образуются в сходных условиях, поэтому для каждого типа необходимо сочетание определенных условий, т. е. критериев. Иными словами, можно говорить о комплексе критериев, определяющих геологически

благоприятные условия и обстановку формирования месторождений данного типа. При этом значение каждого критерия различно для разных групп месторождений.

Главнейшие группы геологических критериев поисков были выделены и охарактеризованы основоположниками этого направления в поисково-разведочной геологии В.М. Крейтером и В.И. Смирновым. В настоящее время при прогнозно-поисковых исследованиях принято выделять несколько групп геологических критериев:

- формационные
- стратиграфические
- структурные
- литолого-фациальные
- геохимические.

#### ❖ **Формационные критерии**

Формационные критерии основаны на одном из важнейших положений геологии полезных ископаемых - о закономерной связи полезных ископаемых с геологическими формациями. Основоположники учения о геологических формациях Н.С. Шатский и Н.П. Херасков определили их как «естественные ассоциации горных пород и связанных с ними минеральных образований, отдельные члены которых в результате парагенетических отношений тесно связаны друг с другом как в пространственном, так и в возрастном отношении». *Формации* - это крупные геологические тела, которые характеризуются определенным сочетанием и составом горных пород, строением, связью с тектоническими структурами. Появление каждой формации обусловлено определенным тектоническим режимом. В пределах крупных тектонических структур формации образуют закономерные ряды, отражающие историю развития данной структуры.

Выделяются формации осадочные, магматические, а также смешанные, преимущественно вулканогенно-осадочные.

Установлено, что с различными формациями связаны определенные группы полезных ископаемых. Например, с дунит-гипербазитовыми формациями ранних стадий рифтогенеза и областей активизации связаны месторождения хромитов и платиноидов, с вулканогенными базальтоидными формациями связаны месторождения колчеданного семейства, прибрежно-морские известково-терригенные формации содержат рудные тела марганцевых месторождений и т. д.

В других случаях геологическая формация может выступать в качестве среды рудоотложения, вмещающей промышленно ценную минерализацию, связанную с другими геологическими формациями. Так, например, жильные гидротермальные месторождения, связанные с магматическими формациями, могут быть локализованы среди осадочных, осадочно-вулканогенных и других геологических формаций. Такие формации называются рудовмещающими. Вмещающая среда существенно влияет на локализованную в ней гидротермальную минерализацию, во многих случаях предопределяя развитие различных по минеральному составу руд.

Связь полезных ископаемых с формациями в общем виде заключается в том, что они представляют собой по существу горные породы, входящие в состав определенных формаций, но встречаются значительно реже, чем другие компоненты формаций. Руды и другие полезные ископаемые являются, как и все остальные породы, составляющие формацию, ее закономерными членами.

Характеризуя сущность формации, иногда прибегают к такому сравнению: точно так, как порода является парагенезом минералов, так формацию можно рассматривать как парагенез пород. Продолжая эту

аналогию, месторождения в геологических формациях можно уподобить акцессорным минералам в породах.

Принадлежность к конкретным формациям и определяет главнейшие геологические условия, в которых происходило образование полезных ископаемых. При этом следует иметь в виду, что некоторые виды полезных ископаемых бывают приурочены к одному определенному типу формаций (моноформационный), тогда как другие встречаются в двух или нескольких типах формаций. Например, медистые песчаники всегда связаны с пестроцветными формациями аридных зон и отсутствуют в других группах формаций. Это, в частности, служит доказательством осадочного происхождения медных руд данного типа, сингенетичного с вмещающими породами. В отличие от этого фосфоритоносные формации делятся на две группы: геосинклинальную и платформенную. Первая связана с карбонатными или терригенно-карбонатными формациями, характеризующимися повышенной кремнистостью. Фосфоритоносные формации платформенных областей представлены двумя группами: терригенно-карбонатной и глауконитовой.

Когда речь идет об осадочных формациях, связь с ними осадочных полезных ископаемых бывает наиболее очевидной: тела их переслаиваются с другими породами формации. По существу, в данном случае полезные ископаемые представляют собой определенные, особые фации осадочных пород.

Сложнее обстоит дело с выявлением связей эндогенных месторождений с магматическими формациями, особенно когда эти месторождения располагаются вне магматических образований данной формации.

В.И. Смирнов среди главных признаков связи указывал следующие.

1. Одновременность образования комплексов изверженных горных пород и связанных с ними рудных месторождений, т. е.

формирование их в один и тот же магматический и металлогенический период. Например, если изверженные породы и рудные месторождения залегают в породах одинакового геологического возраста и перекрываются одинаковыми породами более молодого возраста.

2. Приуроченность комплексов изверженных горных пород и эндогенных месторождений к одним и тем же геологическим структурам, которая с различной степенью отчетливости наблюдается во многих рудных районах.
3. Одинаковые фациально-глубинные условия образования изверженных пород и месторождений.
4. Одинаковая степень метаморфизма пород и руд.
5. Приуроченность руд к интрузивным дайкам.
6. Связь определенных по составу изверженных пород и руд.
7. Закономерное размещение рудных месторождений по отношению к массивам изверженных горных пород. Выделяются три случая относительного положения рудных тел: а) размещение их внутри массивов; б) приуроченность к зонам контактов массивов; в) расположение их среди вмещающих изверженные массивы пород, иногда далеко от последних.
8. Геохимические признаки связи между эндогенными месторождениями и изверженными породами, устанавливаемые на основе изучения: а) акцессорных минералов в рудах и изверженных породах; б) одинаковых химических элементов в рудах и породах; в) уровня содержания металлов, входящих в состав руд месторождений, в интрузивах; г) соотношений изотопного состава элементов в рудах и изверженных породах; д) абсолютного геологического возраста и др.

Установление связи тех или иных полезных ископаемых с определенными формациями имеет важнейшее значение для поисков. Принцип использования формационных критериев заключается в том, что развитие в исследуемом районе пород какой-либо формации или нескольких формаций является указанием на возможность обнаружения месторождений, которые обычно связаны с этими формациями. Так, развитие гранодиоритовых комплексов предопределяет возможность формирования скарновых месторождений вольфрама, гидротермальных месторождений золота и ряда других. Наличие различных комплексов габбро-пироксенит-дунитовой формации может служить основанием для поисков магматических месторождений хромитов, медно-никелевых сульфидных месторождений, платиноидов, титано-магнетитов и т. д.

Эти самые общие принципы нуждаются в детализации. Для того чтобы на площади развития какой-либо рудоносной формации, охватывающей нередко сотни и тысячи квадратных километров, можно было выделить конкретные перспективные участки, необходимо располагать сведениями о закономерностях локализации руд. Изучение этих закономерностей позволяет выявить в пределах формации конкретные элементы, являющиеся рудолокализирующими или определяющими возможность возникновения обстановок, благоприятных для рудоотложения, или каким-либо другим образом влияющих на характер связанных с формацией полезных ископаемых. Например, рудные тела некоторых месторождений в конкретных районах локализуются вдоль тектонических нарушений, занимающих определенную структурную позицию. Месторождения осадочного генезиса характеризуются приуроченностью к определенным частям стратиграфического разреза, для других определяющей является литолого-фациальная обстановка. В ряде случаев эти рудоконтролирующие

элементы приобретают самостоятельное значение и их целесообразно рассматривать в качестве отдельных групп геологических критериев.

В первую очередь заслуживают внимания стратиграфические, структурные, литолого-фациальные и геохимические критерии.

### ❖ **Стратиграфические критерии**

Некоторые типы месторождений осадочных полезных ископаемых характеризуются отчетливой приуроченностью к определенным стратиграфическим горизонтам, которая объясняется тем, что образование их происходило в определенные эпохи осадконакопления. Так, Н.М. Страховым установлено в истории развития земной коры семь крупных и девять мелких эпох образования осадочных железорудных месторождений. С этими эпохами в основном совпадают периоды образования осадочных месторождений марганца и бокситов.

Закономерной стратиграфической приуроченностью характеризуются месторождения угля, горючих сланцев, фосфоритов, медистых песчаников и др.

Таким образом, изучение стратиграфического разреза имеет большое значение при поисковых работах, поскольку присутствие в изучаемом районе пород тех стратиграфических горизонтов, которые в глобальном или региональном масштабе относятся к продуктивным, может служить предпосылкой поисков соответствующих месторождений.

Однако при этом нужно иметь в виду, что, строго говоря, стратиграфическая приуроченность свойственна не просто телам полезных ископаемых или так называемым продуктивным горизонтам, а в первую очередь осадочным рудоносным формациям, которые в качестве присущих им компонентов включают в себя эти тела и продуктивные горизонты.

## ❖ Структурные критерии

Как было отмечено выше, тела полезных ископаемых характеризуются закономерной структурной приуроченностью, которая может проявляться на различных уровнях. В глобальном масштабе подобными структурами могут являться металлогенические провинции, в региональном эти структуры могут быть проявлены металлогеническими поясами и бассейнами. Эти категории являются важным элементом прогнозно-металлогенических оценок крупных территорий, перспективных районов.

Для поисков конкретных месторождений ведущее значение приобретают локальные рудолокализирующие структуры. А они весьма разнообразны для месторождений различных групп, больше того, в месторождениях одного промышленного типа зачастую выделяется несколько структурных разновидностей. При проведении поисковых работ важно знать различные структурные типы месторождений, являющихся объектом поисков для того, чтобы обратить внимание на выявление соответствующих структур, которые могут служить поисковыми предпосылками.

Часто под структурными предпосылками подразумеваются прежде всего разрывные и складчатые структуры, контактовые зоны интрузивных тел, поскольку к этим элементам бывают приурочены рудные тела месторождений различных типов. Наличие разрывных нарушений традиционно рассматривается как благоприятная предпосылка для поисков. Точно так же укоренились представления о высокой перспективности некоторых, ставших классическими комбинаций структурных элементов. Например, сочетания складок, преимущественно антиклинальных, и секущих разрывов, особенно если складки образованы чередованием пород, различающихся по пористости, проницаемости и другим физико-механическим свойствам.

Кроме того, имеются более сложные по структурной позиции месторождения; выявление структурных критериев в этом случае требует постановки специальных исследований. Имеются в виду вулканогенные месторождения, связанные с вулканогенно-осадочными формациями. Наиболее наглядным примером их могут служить месторождения колчеданного семейства: медноколчеданные, колчеданно-полиметаллические и др. Установлено, что они занимают закономерные позиции в палеовулканических структурах, располагаясь обычно:

- 1) на склонах экструзивных и экструзивно-лавовых куполов;
- 2) в жерловых зонах стратовулканов;
- 3) в вершинных депрессиях вулкано-купольных структур и стратовулканов;
- 4) в депрессионных структурах других типов.

Для того чтобы выявить указанные структуры, а затем приступить к поисковым работам в наиболее благоприятных частях этих структур, необходимо достаточно детально расшифровать внутреннее строение вулканогенных толщ, т. е. провести специальное палеовулканоологическое картирование.

Таким образом, структурные критерии можно условно подразделить на две группы:

- 1) тектонические - разломы разного типа, складки, их комбинации и т. д.;
- 2) палеовулканоологические - древние захороненные вулканические постройки; стратовулканы, экструзивы, субвулканы, депрессии разного рода и др.

#### ❖ **Литолого - фациальные критерии**

Изучение условий формирования месторождений показывает, что процессы рудоотложения протекают, как правило, в строго определенных

фациальных обстановках. Это прежде всего относится к месторождениям осадочного генезиса, подавляющее большинство которых обычно бывает локализовано в породах, относящихся к наиболее благоприятным для рудоотложения фациям. Фундаментальными исследованиями Н.М. Страхова установлены основные закономерности формирования осадочных руд железа, марганца, алюминия, приуроченность их к фациям прибрежной зоны озер и морей. Дифференциация этих элементов, обусловленная различной геохимической подвижностью, выражена в том, что осаждение алюминия происходит в прибрежной зоне, железа - в верхней части шельфа, а марганца - в нижней части. Для осадочных месторождений важную роль играет климат (гумидный, аридный и ледовый), который определяет типы литогенеза и соответствующие им обстановки формирования полезных ископаемых.

Фациальный контроль размещения и локализации руд отчетливо проявлен и в месторождениях, связанных с вулканогенными формациями. Связь процессов формирования и локализации руд с фациями вулканогенных пород проявляется по-разному и может рассматриваться в трех аспектах:

1) закономерная приуроченность месторождений к определенным группам фаций, обусловленная парагенетической связью оруденения с вулканизмом;

2) приуроченность руд к фациям, определенная условиями их одновременного образования;

3) приуроченность руд к определенным фациям, связанная с особенностями состава, строения и физико-механических свойств последних.

Многие месторождения магматического генезиса также обнаруживают приуроченность к определенным фациальным обстановкам,

локализуясь в апикальных, краевых, донных частях интрузивных массивов или других условиях.

### ❖ **Геохимические критерии**

Геохимические критерии основаны на геохимической специализации формаций и рудоносных комплексов, как магматических, так и осадочных. Изучение геохимической специализации разных типов пород позволяет выявить естественные связи различных элементов, в том числе индикаторов рудоносности данного комплекса.

Для магматических пород характер геохимической специализации в каждом конкретном случае зависит от сложного комплекса факторов, включающих геохимическую природу магмы, геологические особенности ее кристаллизации и дифференциации, геохимическую специфику вмещающих пород, а также характер послемагматического изменения материнских пород.

В осадочных образованиях геохимическая специализация определяется особенностями химического состава пород, являющихся источниками сноса, характером дифференциации кластического и растворенного вещества на путях миграции, тектоническим и климатическим режимами седиментационной области, характером физико-химических и биологических процессов в конечных водоемах стока и, наконец, условиями диагенетического преобразования осадков.

Геохимическая специализация геологических комплексов может иметь региональное или локальное значение. Так, примерами региональной специализации могут служить региональная оловоносность меловых гранитоидов Чукотки, редкометалльная специализация юрских гранитов Восточного Забайкалья, региональная меденосность осадочных прибрежно-морских комплексов Центрального Казахстана.

Локальная специализация отдельных массивов и частей стратиграфического разреза является результатом особых условий формирования и геологического развития данного комплекса.

Не только геохимическая специализация, но и другие поисковые критерии характеризуются различной масштабностью проявления: одни из них свойственны крупным металлогеническим провинциям, другие позволяют оценивать перспективность рудных районов, третьи являются локальными и служат указателями возможного размещения месторождений.

### **3.2 Поисковые признаки**

Под поисковыми признаками понимаются непосредственные указатели месторождений: это следы процессов и явлений, сопутствовавших образованию, изменениям и разрушению месторождений; особые физические, минералогические и химические свойства полезного ископаемого и околорудных пород, по которым можно обнаружить месторождения; сведения о деятельности человека, имеющей отношение к полезному ископаемому. Иногда условно поисковые признаки делятся на прямые: непосредственно указывающие на наличие оруденения (выходы полезных ископаемых, ореолы рассеяния, следы старых горных выработок и др.) - и косвенные: косвенно свидетельствующие о происходивших процессах рудообразования или о возможном присутствии полезных ископаемых (измененные околорудные породы, геохимические и геофизические аномалии, геоморфологические признаки и др.).

#### **❖ Выходы полезных ископаемых**

Коренное обнажение тела полезного ископаемого является наиболее достоверным поисковым признаком. Во всех случаях выходы полезных

ископаемых требуют тщательного изучения и оценки, которая нередко осложняется тем, что залежи в поверхностных условиях бывают существенно изменены гипергенными процессами. Следует также иметь в виду, что наличие коренных выходов полезного ископаемого еще не является гарантией того, что это выходы промышленных рудных тел: они могут оказаться незначительными по размеру или неудовлетворительными по качеству.

#### ❖ **Геохимические аномалии**

Геохимические аномалии имеют основное значение при поисках месторождений полезных ископаемых. Они выражены в формировании геохимических ореолов - зон, участков пород, окружающих месторождения или расположенных в непосредственной близости от него и характеризующихся повышенным содержанием рудообразующих или сопутствующих рудообразованию специфических элементов, минералов, других компонентов.

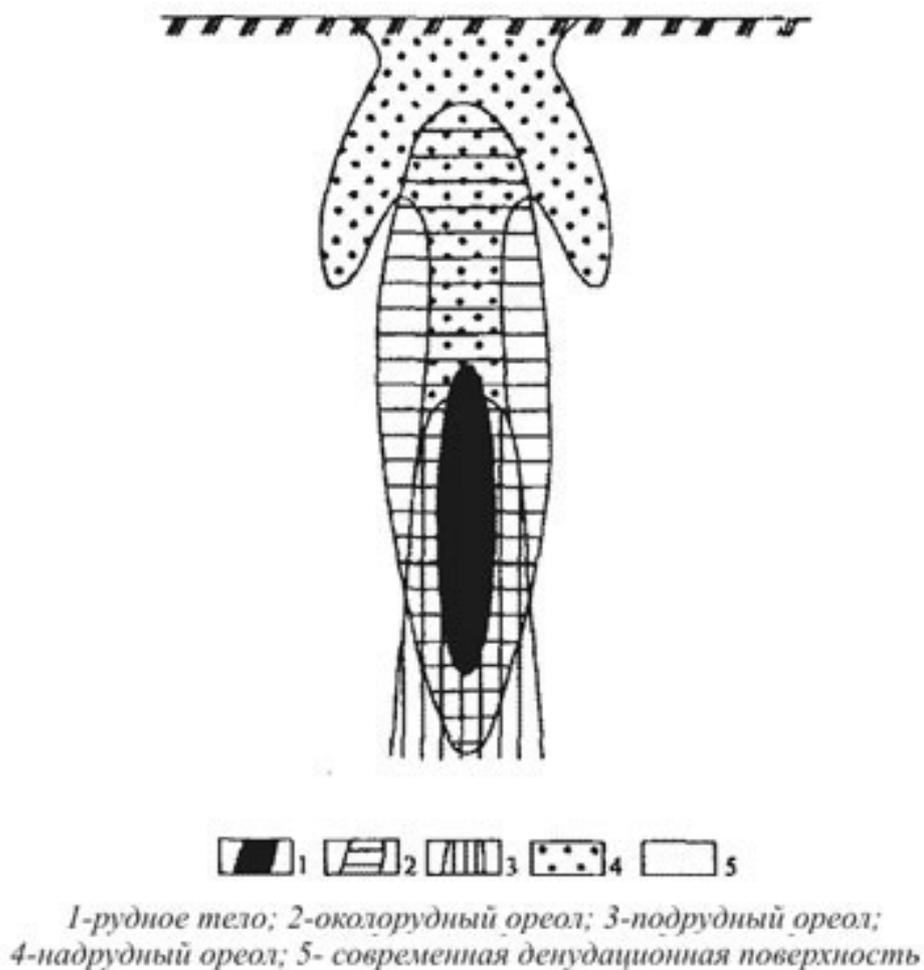
Ореолы подразделяются на *первичные*, связанные с процессами рудообразования, и *вторичные*, возникающие в результате воздействия на месторождение экзогенных процессов.

Ореолы рассеяния по размерам намного превышают залежи полезных ископаемых, их значительно проще обнаружить поисковыми методами, поэтому они имеют важное значение при поисках.

***Первичные ореолы*** - это зоны рудовмещающих пород, окружающие месторождение, обогащенные в процессе рудообразования главными рудообразующими и рядом сопутствующих элементов (Рис. 1). Различают первичные ореолы *сингенетические* и *эпигенетические*.

Первые образуются в результате совместно протекающих процессов образования полезного ископаемого и вмещающих пород. Поэтому распределение химических элементов в этих ореолах характеризуется

плавным повышением концентраций по мере приближения к рудным телам. Сингенетические ореолы свойственны месторождениям магматического и осадочного генезиса.



**Рис. 1** Обобщенная схема первичного ореола гидротермального месторождения (с упрощением)

Эпигенетические ореолы сопровождают эпигенетические месторождения: наложенные, образующиеся в результате процессов, протекающих в среде ранее сформированных вмещающих пород. Типичным представителем этих образований являются, например, жильные гидротермальные месторождения, пегматитовые и др.

Ореолы, формирующиеся в процессе эпигенетического рудообразования подразделяются на диффузионные, инфильтрационные и диффузно-инфильтрационные. Как и рудные залежи, эпигенетические ореолы приурочены к рудовмещающим структурам и часто отличаются несогласным, секущим положением по отношению к вмещающим породам. Поскольку миграция компонентов в сторону от формирующихся рудных тел зависит от ряда факторов: их подвижности, состава растворов, фильтрующих свойств среды, физико-химической обстановки и др. строение этих ореолов, соотношение элементов в них бывают довольно сложными.

Главные ореолообразующие элементы (например, для благородных и цветных металлов: Au, Ag, Cu, Pb, Sb, As, Bi и некоторые другие) являются производными от вещественного состава руд и позволяют судить о минерально-геохимическом типе скрытого месторождения. Второстепенные элементы (Co, Ni, Cd, Ba, Mo, Hg, F, J, Br и др.) встречаются в виде примесей в жильных, рудных и породообразующих минералах, образуют как положительные, так и отрицательные ореолы и имеют большое значение при оценке уровня эрозионного среза рудных тел.

Первичные ореолы часто представляют собой непосредственное продолжение рудных тел и отличаются от них лишь меньшими содержаниями полезных компонентов. А поскольку требование промышленности к содержанию полезных компонентов в руде с течением времени меняется, то меняется и условная граница между рудой и ореолом. Это в первую очередь относится к сингенетичным месторождениям.

Форма нахождения элементов в первичных ореолах различна. Часто они образуют собственные минералы, обычно те же, что присутствуют в рудах. Нередко они содержатся в виде изоморфных примесей в различных

минералах вмещающих пород и новообразованных, «ореольных». Кроме того, ореолообразующие элементы могут содержаться в растворах - пленочных и поровых, пропитывающих вмещающие породы. Но, вероятно, в данном случае по своей природе эти элементы могут быть отнесены и к компонентам вторичных ореолов.

Первичные ореолы практически во всех случаях характеризуются определенной зональностью в распределении элементов и их концентраций. Зональность определяется геохимическими свойствами элементов, составом вмещающих пород, стадийностью рудообразующих процессов и др. Важная роль зональности ореолов при поисках определяется тем, что по ее характеру иногда удается установить уровень эрозионного среза относительно рудного тела: надрудный, рудный, подрудный (рис. 1). Морфология первичных ореолов, как было отмечено выше, определяется в основном рудоконтролирующими структурами.

***Вторичные ореолы и потоки рассеяния*** - это зоны пород, преимущественно поверхностных образований, обогащенных продуктами, возникающими при процессах разрушения месторождений. Такие ореолы и потоки образуются в рыхлом покрове и почвах, растительности, грунтовых и поверхностных водах, почвенном и приповерхностном воздухе и связаны между собой. Ореолы характеризуются изометричной формой в плане, у потоков вытянутая форма, обусловленная перемещением продуктов разрушения постоянными или временными водотоками, реже другими агентами (рис. 2). *Литохимическим потоком* рассеяния месторождения называется зона повышенных содержаний химических элементов, характерных для данного месторождения, прилегающая к вторичному ореолу и развивающаяся в аллювиальных, эоловых, ледниковых и других отложениях, речных, озерных и подземных водах на путях твердого и водного стоков. В направлении стока содержания химических элементов затухают, постепенно приближаясь к

значениям, соответствующим местному геохимическому фону. Содержание элементов в потоке рассеяния в первую очередь зависит от положения рудных тел, их первичных и вторичных ореолов в местном бассейне денудации. Месторождения, выведенные на уровень денудационного среза, в благоприятных условиях образуют литохимические потоки рассеяния протяженностью более километра. Различия в миграционной способности элементов, а также разные количественные соотношения между элементами в составе руд и первичных ореолов определяют выбор элементов-индикаторов, по которым ведут литохимические поиски по вторичным ореолам и потокам рассеяния. Из всего многообразия типов потоков рассеяния наиболее распространены и имеют наибольшее практическое значение речные потоки рассеяния.



**Рис. 2** Схема формирования вторичных ореолов и потоков рассеяния

В зависимости от характера разрушения месторождения и фазового состояния продуктов разрушения вторичные ореолы и потоки рассеяния разделяются на механические, солевые, водные (или гидрогеохимические), газовые (атмогеохимические) и биогеохимические.

**Механические ореолы** формируются во всех типах рыхлых отложений: от элювиальных до ледниковых при разрушении химически устойчивых полезных ископаемых. Механические ореолы обусловлены повышенными концентрациями рудных минералов. По крупности и агрегатному состоянию продуктов разрушения ореолы и потоки подразделяются на крупнообломочные (рудные развалы, валуны, галька), шлиховые (песчано-гравийные), тонкодиспергированные (глинистые).

**Солевые ореолы и потоки рассеяния** образуются в результате разложения, растворения, переноса и переотложения рудного вещества в поверхностных породах в виде элементов и солей. Формирование солевых ореолов и их состав в значительной степени зависят от климатических условий района, в особенности от соотношения между количеством атмосферных осадков и величиной испарения. В большинстве случаев наблюдаются совместные механические и солевые ореолы.

**Водные (гидрогеохимические) ореолы** представляют собой области распространения подземных и поверхностных вод, которые в результате взаимодействия с полезными ископаемыми, а также первичными и вторичными ореолами, отличаются повышенными содержаниями химических элементов, присутствующих в месторождении, и некоторых других компонентов, например, сульфат-иона, хлор-иона и др. Среди гидрогеохимических ореолов выделяются постоянные (преимущественно в глубоких водоносных горизонтах) и временные (в поверхностных и грунтовых водах) концентрации элементов в которых меняются в зависимости от обилия атмосферных осадков.

*Газовые (атмогеохимические) ореолы* рассеяния представляют собой локальное обогащение почвенного воздуха и приповерхностного слоя атмосферы паро- и газообразными соединениями, связанными с полезными ископаемыми. Такие ореолы образуются в результате миграции элементов в газовой фазе во время формирования месторождений и в процессе их разрушения. Газовые ореолы образуются при химических преобразованиях сульфидных руд, месторождений ртути; ореолы радона, тория и гелия возникают над месторождениями радиоактивных элементов; горючие газы, гелий, углекислый газ и другие фиксируют месторождения углеводородов.

*Биогеохимические ореолы* представляют собой области распространения растений с повышенным содержанием типоморфных для месторождения элементов. Повышенные концентрации устанавливаются в золе растений и обусловлены избирательным поглощением различных элементов растениями. При этом в конкретных условиях элементы неравномерно распределяются по растению, накапливаясь либо в листьях, либо в стволе и т. д. Разные виды растений характеризуются избирательными свойствами концентрации элементов.

#### ❖ **Следы старых горных выработок**

Следы выработок, из которых в древности производилась добыча полезных ископаемых, отвалы таких древних разработок, археологические находки и данные, свидетельствующие о старинных горных промыслах и металлургических производствах, могут служить важным указанием на наличие полезных ископаемых. По таким признакам были обнаружены многие месторождения на Кавказе, Урале, Алтае, в Казахстане и в некоторых районах Сибири.

## ❖ **Измененные околорудные породы**

Процессы рудообразования обычно приводят к более или менее значительным изменениям вмещающих пород. Околорудные изменения достаточно широко распространены. Кроме того, они различаются по типу формирующихся измененных пород, наличие которых свидетельствует о процессах минералообразования, хотя они и не всегда сопровождаются оруденением. Наиболее важными для поисков являются такие типы изменений, как скарнирование, грейзенизация, окварцевание, березитизация и др.

*Скарны и скарнированные породы* формируются при взаимодействии интрузий умеренно кислых, реже щелочных и основных изверженных пород с вмещающими карбонатными осадочными породами или вулканогенно-осадочными, содержащими примесь известкового материала. Они состоят из гранатов, пироксенов, других известково-железистых силикатов - волластонита, скаполита, эпидота, амфиболов и других и обычно располагаются вдоль контактов интрузива с вмещающими породами. В скарнах и скарнированных породах располагаются некоторые типы месторождений железа, кобальта, меди, полиметаллов, вольфрама, молибдена, золота и др.

*Грейзены* связаны с гранитными интрузиями резко выраженного кислого состава, пересыщенными глиноземом; располагаются в апикальных частях массивов и состоят в основном из кварца, слюд (мусковит, биотит, цинвальдит), топаза, турмалина, флюорита и др. В основном грейзены развиваются по интрузивным породам и в небольшой степени охватывают породы кровли - кварциты, кварцевые песчаники, кислые эффузивы. С грейзенами связан более узкий круг месторождений: касситеритовые, вольфрамитовые, молибденитовые, бериллиевые, танталита-колумбита и висмутовые.

**Окварцованные породы.** Окварцевание пород при гидротермальных процессах развито широко и сопровождается многочисленными типами месторождений. Гидротермальное изменение интрузивных и эффузивных пород кислого и среднего составов приводит к образованию так называемых вторичных кварцитов, в которых наряду с резко преобладающим кварцем присутствует серицит, каолинит, андалузит, алунит, пирофиллит, а также рутил, турмалин и рудные минералы (пирит, халькопирит, молибденит, гематит и др.). С формацией вторичных кварцитов связаны некоторые промышленные типы медных, медно-молибденовых и молибденовых месторождений, известных под названием меднопорфировых.

Особый тип пород представляют собой окварцованные известняки - джаспероиды, состоящие из мелкозернистого кварца и халцедона и реликтов кальцита и доломита. Этот тип изменений околорудных пород наблюдается на некоторых месторождениях свинца и цинка, а также сурьмы и ртути.

**Березиты** представляют собой гидротермально измененные породы, образованные главным образом за счет гранитоидных пород (гранит-порфиров, кварцевых порфиров и др.) и состоящие из кварца и серицита с примесью пирита и рутила. Березитизация сопровождается образованием золоторудных жильных месторождений и некоторых молибденовых, вольфрамовых, медных и др.

Помимо перечисленных широким развитием пользуются и другие типы гидротермального изменения боковых пород, сопровождающие процессы формирования месторождений. Так, гидротермальные месторождения, локализованные в породах основного состава, нередко сопровождаются лиственитизацией: образованием метасоматического карбонат-кварцевого парагенезиса с примесью пирита, хлорита, талька, серицита, серпентинита, актинолита и др.

## ❖ **Геофизические аномалии**

Тела полезных ископаемых по своим физическим свойствам нередко существенно отличаются от вмещающих пород. Это обуславливает возникновение аномалий в геофизических полях и возможность выявления их соответствующими методами. Геофизические аномалии являются поисковыми признаками месторождений, хотя далеко не все они бывают вызваны присутствием залежей полезных ископаемых.

**Гравитационные аномалии**, т. е. зафиксированные в гравитационном поле участки с отклонениями значения ускорения силы тяжести от нормальных, обусловлены неоднородностью строения земной коры. Положительные аномалии бывают вызваны наличием относительно крупных масс пород с высокими плотностными характеристиками. Такие аномалии часто фиксируются над залежами железных руд, хромитов, сульфидов и др.

**Магнитные аномалии** - изменения напряженности магнитного поля, вызванные присутствием неодинаковых по магнитным свойствам пород. Обычно тела полезных ископаемых характеризуются повышенными, сравнительно с вмещающими породами, содержаниями магнитных минералов, вызывают положительные магнитные аномалии, интенсивность которых зависит от типа руд и их объема. Хрестоматийными примерами месторождений, интенсивно возмущающих магнитное поле, являются Курская магнитная аномалия и гора Магнитная на Урале.

**Электрические аномалии.** Присутствие среди относительно однородных вмещающих пород объектов, отличающихся от них своими электрическими свойствами, обуславливает возникновение электрических аномалий, т. е. отклонений электромагнитного поля от его нормального значения. В зависимости от того параметра, который принят в каждом конкретном случае для характеристики поля, существуют аномалии

кажущегося удельного электрического сопротивления, аномалии естественного электрического поля, аномалии вызванной поляризации и др. Руды многих месторождений по сравнению с вмещающими породами характеризуются повышенной электропроводностью, более низкими показателями электрического сопротивления и т. д. Разнообразные методы электроразведки, позволяющие измерять различные параметры естественного и искусственных электрических полей, используются для выявления объектов с отличными от общего фона электрическими свойствами.

*Радиоактивные аномалии*, вызванные присутствием повышенных концентраций радиоактивных элементов в рудах, служат надежным поисковым признаком для обнаружения месторождений радиоактивного сырья. Благодаря высокой миграционной способности радиоактивные элементы проникают во вмещающие породы, в почвы; газообразные продукты радиоактивного распада фиксируются в почвенном воздухе.

В качестве поисковых признаков используются и другие аномалии: сейсмические, сейсмоэлектрические и др.

Геофизические аномалии отражают неоднородность строения изучаемых участков земной коры. По тому при использовании геофизических поисковых методов едва ли не самой трудной и ответственной задачей является выяснение природы установленных аномалий, выделение тех из них, которые обусловлены залежами полезных ископаемых.

Геофизические аномалии, выявленные над месторождениями, не только фиксируют скопления тех или иных полезных ископаемых, но по своим показателям: интенсивности, площади, конфигурации - позволяют в некоторых случаях оценить масштабы объекта, глубину и характер залегания и другие параметры.

Геофизические аномалии используются не только как признаки залегающих в недрах тел полезных ископаемых. Интерпретация геофизических материалов оказывает существенную помощь в расшифровке особенностей геологического строения и, в частности, в выявлении ряда геологических критериев: например, участков развития измененных пород, положения и ориентировки разрывных рудоконтролирующих структур и т. д.

#### ❖ Геоморфологические поисковые признаки

При поисках полезных ископаемых в некоторых случаях могут быть использованы особенности микрорельефа исследуемой территории. Дело в том, что залежи полезных ископаемых могут существенно отличаться от вмещающих пород по степени устойчивости к агентам выветривания. Поэтому тела полезных ископаемых, выходящие на поверхность, могут фиксироваться отрицательными формами рельефа: депрессиями, впадинами, карстовыми воронками - если они легко выветриваются, разрушаются, выщелачиваются и т. д. И наоборот, устойчивые тела нередко выступают в рельефе в виде гряд, цепочек коренных выходов, образуют уступы и другие положительные элементы рельефа.

Геоморфологические поисковые признаки лежат в основе поисков всех типов россыпей: золота, платины, алмазов, касситерита и других устойчивых минералов; формирование россыпей тесно связано с преобразованиями форм рельефа.

Типы и виды поисковых признаков не ограничиваются перечисленными группами. Поисковыми признаками могут служить самые разнообразные факты и явления: характер растительности, окраска пород, текстурно-структурные их особенности, наличие типоморфных минералов в породах или шлихах, типоморфных элементов или их групп в минералах

и т. д. При этом информативность признаков для разных групп месторождений различна. На самом деле для каждого промышленного типа месторождений, являющегося объектом поисков, должен быть установлен свой сугубо индивидуальный комплекс поисковых признаков. От того, насколько правильно установлен такой комплекс, во многом зависит успех поисковых работ.

## РАЗДЕЛ 2. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКА МПИ В СЛАБОИЗУЧЕННЫХ РЕГИОНАХ

При поисках месторождений используются разнообразные методы, направленные на обнаружение самих залежей, а также всех видов аномалий, вызванных ими. В соответствии с этим методы поисков могут быть подразделены на *геологические, минералогические, геохимические и геофизические*. Отдельную группу составляют *горно-буровые* методы, которые используются для проверки результатов, полученных каждым или комплексом перечисленных методов, и для непосредственного вскрытия залежей полезных ископаемых, положение которых предварительно оценено по характеру размещения выявленных аномалий.

По условиям, в которых ведутся поисковые работы, методы поисков подразделяются на *дистанционные* (космические и аэрометоды), *наземные* и *подводные*.

Таким образом, классификация поисковых методов может быть представлена в следующем виде.

### **I. Космические методы поисков**

Геологическое и поисковое дешифрирование материалов различных космосъемок: цветных, спектрзональных и других специализированных съемок и измерений.

### **II. Аэрометоды**

Аэрогеологические методы:

- ◆ аэровизуальные геологические и поисковые наблюдения;
- ◆ геологическое и поисковое дешифрирование аэрофотоматериалов.

Аэрогеофизические методы:

- ◆ аэромагнитометрическая съемка;

- ◆ аэрорадиометрическая съемка;
- ◆ аэроэлектрометрическая съемка.

Аэротранспортные и аэродесантные методы:

- ◆ для проведения наземных геологических, минералогических и геохимических исследований;
- ◆ для проверки наземных геофизических исследований.

### **III. Наземные методы.**

Геологические методы:

- ◆ метод геологической съемки - универсальный поисковый метод;
- ◆ методы специализированных геологических съемок.

Геолого-минералогические методы.

◆ Метод изучения и оценки выходов полезных ископаемых на современную поверхность.

◆ Минералогические методы изучения и оценки ореолов рассеяния минералов:

- в рыхлых отложениях - обломочно-речной (русловый), валунно-ледниковый, шлиховой;
- в коренных породах - метод минералогического картирования, протолочно-шлиховой, шлихо-взрывной.

Геохимические методы.

◆ Литогеохимические методы изучения и оценки ореолов рассеяния химических элементов:

- в рыхлых отложениях - спектрометрические (металлометрические) и микрохимические методы по почвам и элювиально-делювиальным отложениям, донным осадкам, торфяным и другим образованиям;
- в коренных породах - спектрометрические и микрохимические методы.

◆ Гидрогеохимические методы изучения и оценки ореолов рассеяния химических элементов:

- в поверхностных водотоках;
- в подземных водах.

◆ Биогеохимические методы изучения и оценки:

- ореолов рассеяния химических элементов в растениях (биогеохимические методы);
- ореолов развития определенных видов растений, связанных с геохимическими особенностями почв (геоботанический метод).

◆ Атмогеохимические методы изучения и оценки ореолов рассеяния:

- радиоактивных эманации (эманационный метод);
- газов (метод газовой съемки).

Геофизические методы.

Методы изучения и оценки геофизических аномалий, обусловленные телами полезных ископаемых, структурами, их вмещающими, сопровождающими их породами или сочетанием этих факторов:

- ◆ магнитометрические,
- ◆ гравиметрические,
- ◆ сейсмометрические,
- ◆ электрометрические,
- ◆ радиометрические,
- ◆ ядерногеофизические.

Горно-буровые методы, основанные на использовании:

- ◆ Горных выработок.
- ◆ Буровых скважин.

#### **IV. Подводные методы поисков.**

Применяются для поисков полезных ископаемых, скрытых под водами рек, озер, морей, океанов.

- ◆ с надводных кораблей.
- ◆ с подводных кораблей.
- ◆ аквалангистами.

Подробному описанию различных методов, условий их применения, возможностей, точности, достоверности, способов интерпретации посвящены специальные учебные курсы, многочисленные методические руководства и другая специальная литература. Общая характеристика основных групп поисковых методов сводится к нижеперечисленным методам.

#### **Тема 4. Геологический метод**

Группа методов геологического картирования включает геологические методы, используемые при геологической съемке и поисках полезных ископаемых различных масштабов. Сама по себе геологическая съемка имеет самостоятельное значение как один из главных методов поисков. Только путем анализа геологических карт выявляются геологические закономерности, контролирующие размещение полезных ископаемых в данном районе. Геологическая карта служит также основой для постановки других методов поисков, т. к. знание геологического строения изучаемой территории, наряду с другими факторами, позволяет правильно выбрать методы поисков, определить их масштаб, направление поисковых линий, густоту точек наблюдения и главное - правильно интерпретировать фактические материалы, полученные в результате работ. Наконец, сведения о геологическом строении исследуемой площади в комплексе с другими материалами, собранными при поисках, позволяют произвести обоснованную геологическую оценку перспектив выявленного объекта и дать прогноз его возможного промышленного значения.

Масштаб геологических съемок, проводимых с целью поисков, зависит от сложности геологического строения изучаемой площади и от поставленных задач. Геологические карты масштабов 1:100 000 - 1:1 000 000 называются региональными. По содержанию эти карты комплексные. На них должны быть отражены все необходимые данные, имеющие отношение к геологическим предпосылкам поисков и поисковым признакам. Карты масштабов 1:50 000 - 1:25 000 также должны быть комплексными, но специализированными на определенный вид полезного ископаемого. Для изучаемого района они служат основным документом, обосновывающим постановку поисковых работ.

На основе геологической карты масштабов 1:50 000 - 1:25 000 объектами оценки являются потенциальные рудные поля. При поисках этого масштаба могут быть выявлены лишь весьма крупные месторождения относительно простого геологического строения: месторождения углей, минеральных солей, осадочные месторождения железа и марганца и некоторых других полезных ископаемых. При более детальных поисковых и поисково-оценочных работах, которые проводятся в контурах обнаруженных рудных полей, производятся специализированные крупномасштабные геологические съемки 1:10 000-1:5000 и крупнее.

Специализация геологических съемок при поисковых работах заключается в том, что главное внимание уделяется выявлению ведущих поисковых предпосылок прогнозируемого полезного ископаемого, а их изучение проводится с предельно возможной детальностью. Специализированное геологическое картирование как важнейший элемент входит во все рациональные системы поисковых работ.

Для выявления ведущих поисковых предпосылок изучаемых рудных полей и месторождений составляется несколько специализированных карт, позволяющих выявить или детализировать рудоконтролирующие

элементы структур и сконцентрировать на них поисковые работы: геолого-структурные, литолого-фациальные, палеовулканические и др.

Кондиционность геологической карты заключается в соответствии ее содержания масштабу. Чем крупнее масштаб карты, тем подробнее должна быть легенда, более дробным расчленением комплексов пород, выделение структурных элементов и т. д. Кроме того, все контуры, границы, элементы залегания пород должны быть установлены более точно и обоснованно. Следовательно, чем крупнее масштаб геологической карты и сложнее геологическое строение района, тем большее количество наблюдений требуется на единицу исследуемой площади.

Большое значение при проведении геологической съемки (в том числе и крупномасштабной) и поисков имеет использование материалов космо- и аэросъемки (материалов дистанционного зондирования), получаемых при использовании съемочных систем, работающих в оптическом и микроволновом диапазоне, радиодиапазоне электромагнитного излучения. В настоящее время при геологических исследованиях в основном используются данные аэросъемок и съемок с автоматических спутников околоземных орбит. Аэросъемки проводятся в масштабах 1:2000 - 1:5000 (разрешение на местности - десятки сантиметров), 1:16 000 - 1:50 000 (разрешение на местности - первые метры), 1:50 000 и мельче (разрешение на местности - многие метры). Космические съемки подразделяются на съемки высокого разрешения на местности (меньше м), среднего (10 - 100 м), низкого (хуже 100 м).

Материалы дистанционного зондирования позволяют выявлять практически весь комплекс геолого-тектонических элементов, являющихся объектами изучения при геологической съемке: площадных и стратифицированных и нестратифицированных объектов и прослеживание их границ, отдельных пластов и маркирующих горизонтов, даек, разрывных нарушений, выделение тектонических блоков складчатых и

кольцевых структур, размещения и особенности магматических пород, а также решать ряд поисковых задач: выделение рудоконтролирующих структур, установление ареалов гидротермально-метасоматических измененных пород, размещение зон окисления и др.

В целом использование материалов дистанционного зондирования дает более полную и объективную картину пространственных особенностей изучаемых территорий и закономерностей размещения месторождений полезных ископаемых.

## Тема 5. Минералогические методы

Геолого-минералогические поиски месторождений твердых полезных ископаемых основаны на визуальном выявлении и прослеживании ореолов и потоков механического рассеяния, в зависимости от характера которых выделяются *валунно-ледниковый*, *обломочный* и *шлиховой* методы. К геолого-минералогическим методам относятся также *минералогопетрологические* и *минералогические* исследования, направленные на изучение околорудных метасоматитов, вкраплено-прожилковой минерализации и картирования кристалломорфических свойств минералов. Все они не имеют самостоятельного поискового значения и используются в комплексе со специализированным геологическим картированием или другими видами геологоразведочных работ.

*Валунно-ледниковый метод* используется геологами Канады, скандинавских стран и России при поисках месторождений, перекрытых плащом ледниковых отложений. С помощью валунно-ледникового метода обнаружены многие месторождения рудных и нерудных полезных ископаемых. Он заключается в поисках рудных валунов и валунов-спутников в нижних горизонтах донных морен. Как правило, от коренного месторождения валуны расходятся в виде веера, расширяющегося в

сторону движения ледника. Совместный анализ расположения валунного веера и геологической карты позволяет выделить перспективные площади обнаружения коренных месторождений.

**Обломочный метод** основан на изучении аллювиальных, делювиальных и элювиальных ореолов механического рассеяния. Сущность его заключается в обнаружении в отложениях обломков руды или сопутствующих минералов-индикаторов и прослеживании их вплоть до коренного выхода руды.

Обломочный метод применяется в горно-таежных районах в комплексе со специализированным геологическим картированием. С его помощью обнаруживаются коренные выходы многих рудных и нерудных полезных ископаемых, устойчивых в зоне гипергенеза, зон окварцованных и метасоматических измененных пород.

**Шлиховой метод** заключается в систематическом шлиховом опробовании рыхлых отложений, изучении состава шлихов, прослеживании и оконтуривании шлиховых ореолов рассеяния и выявлении по ним коренных и россыпных месторождений полезных ископаемых.

Шлихами называются концентраты, получаемые путем промывки рыхлых отложений, а также измельченных горных пород и минеральных скоплений. Шлиховой метод применяется для поисков полезных минералов, обладающих большой плотностью, механической прочностью и устойчивостью в поверхностных условиях. К этим минералам относятся золото, минералы платиновой группы, касситерит, алмаз, вольфрам, колумбит, шеелит, киноварь и ряд других минералов (табл. 1). Вблизи коренных выходов рудных залежей в шлихах отмечаются и нестойкие минералы, например сульфиды.

Шлиховые ореолы могут формироваться в рыхлых отложениях всех генетических типов - в аллювиальных, делювиальных, элювиальных и других.

Таблица 1 Главнейшие минералы шлихов

Минерал	Плотность $d$ , г/см <sup>3</sup>	Фракция
Магнетит	4.9-5.2	Магнитная
Ильменит	5.0	
Лимонит	3.6-4.0	
Хромит	4.1-4.9	
Вольфрамит	6.7-7.5	
Колумбит-Танталит	5.15-8.2	
Гранаты	3.4-4.3	
Пирон	3.5-3.8	
Монацит	4.9-5.5	
Рутил	4.2	
Циркон	4.2-4.86	
Бадделеит	5.5-6.0	
Апатит	3.13-3.23	
Корунд	3.95-4.1	
Касситерит	6.8-7.1	
Шеелит	5.8-6.0	
Пирит	4.95-5.1	
Золото	15.6-19.3	
Кварц	2.65	Немагнитная легкая
Полевые шпаты	2.5-2.76	

Наибольшее поисковое значение имеют аллювиальные и элювиально-делювиальные ореолы. В зависимости от механической устойчивости минералов они могут образовывать шлиховые ореолы и россыпи протяженностью от нескольких километров до многих десятков километров. О расстоянии до коренных источников рудных минералов в аллювиальных ореолах можно судить по степени окатанности их зерен и по наличию сростков с другими минералами, которые указывают на близость коренных рудных выходов.

Отобранные шлиховые пробы массой от нескольких десятков до ста и более килограммов (в зависимости от гранулометрического состава опробуемых отложений, вида и состава полезных минералов) подвергаются обогащению посредством промывки в лотках,

промывальных устройствах и приборах. Пробы промываются до получения шлихового концентрата шлиха. Полученные шлихи взвешиваются, разделяются на фракции по крупности зерен, минералы мелкой фракции подвергаются магнитной, электромагнитной и гравитационной сепарации.

Участки проявления аномальных концентраций рудных минералов выделяются по результатам оптического (под биноклем и микроскопом) определения минералов в полученных фракциях шлихов и их диагностики с применением микрохимического, люминесцентного анализов и других методов. При этом описываются кристаллографические характеристики минералов, наличие сростков с другими минералами, степень окатанности зерен, изучаются ассоциации и химический состав минералов. Исходный вес или объем промываемой пробы, вес полученного шлиха и результаты количественного определения составляющих их минералов пересчитываются на содержание ценных компонентов на кубометр или тонну рыхлых отложений.

В последние годы на стадии общих и детальных поисков используется шлиховой *минералого-геохимический метод*, являющийся разновидностью шлиховых методов поисков. Сущность метода заключается в изучении состава и особенностей распределения рудных элементов и элементов-примесей в околорудном пространстве по результатам анализа шлиха, его отдельных фракций или отдельных минералов.

Выявление аномальных участков основывается на изучении минералов-концентраторов рудных элементов и гидроксидов. Минералы-концентраторы (гранаты, пироксены, амфиболы, турмалин, пирит и др.) характеризуются повышенными (в 50 - 100 и более раз) содержаниями искомым элементов. Они дают возможность проводить шлихо-

геохимические поиски по шлихам, в которых отсутствуют промышленно-ценные рудные минералы.

Энергетичным сорбентом рудных элементов являются гидроксиды железа (лимонит), образующиеся при окислении руд и содержащие в 100-1000 раз больше рудных элементов, чем лимониты, отобранные из безрудных участков.

Минералогическому и геохимическому анализу подвергаются все шлихи, отмываемые при проведении поисковых работ. После промывки пробы легкая фракция отделяется в бромформе, тяжелый остаток разделяется на магнитную, электромагнитную и неэлектромагнитную фракцию. Контрастность аномалий резко увеличивается, если анализируется не весь шлик, а отдельные его фракции - концентраты рудных элементов.

Поисковая информативность анализа фракций зависит от типа искомого месторождения и их типового минерального состава. В частности, для поисков золоторудных месторождений, на которых одним из главных минералов-концентратов золота является пирит, геохимическому анализу подвергается неэлектромагнитная фракция. Если пирит окислен и замещен гидроксидами железа, то в первую очередь анализируется электромагнитная фракция. Эту фракцию необходимо анализировать и при поисках полиметаллических руд скарнового типа.

Сочетание в одном методе минералогической и геохимической информации существенно увеличивает достоверность и результативность поисков. Метод может применяться при поисках коренных месторождений благородных, цветных и редких металлов, сопровождающихся ореолами пиритизации. Особенно широкое применение метод находит при поисках месторождений, не выходящих на поверхность, а также при поисках месторождений, не сопровождающихся шлиховыми ореолами рудных минералов, устойчивых в зоне окисления (например, сульфидных).

Рудные объекты сопровождаются комплексными шлихогеохимическими ореолами Au, Ag, As, Sb, Bi, Pb, Zn, Си, Ва и других элементов, которые в зависимости от масштабов оруденения прослеживаются на расстояния от сотен метров до 1 - 2 км от месторождения. Содержания ореолообразующих элементов возрастают по направлению к месторождению и вблизи месторождения в 100 и более раз превышают фоновые. Глубинность метода соответствует глубине расчленения рельефа.

Применение шлихового минералого-геохимического метода показало его высокую эффективность в различных ландшафтно-геохимических условиях.

## **Тема 6. Геохимические методы**

Геохимические методы поисков полезных ископаемых основаны на выявлении, оконтуривании и оценке локальных ореолов элементов-индикаторов рудной минерализации и элементов-спутников в коренных породах, рыхлых отложениях, природных водах, растениях и газах. В зависимости от этого различают литохимические, гидрохимические, биохимические и атмохимические методы поисков. Литохимические методы основаны на исследовании состава и особенностей распределения химических элементов в горных породах, продуктах их выветривания и почвах; гидрохимические - состава природных поверхностных и подземных вод; атмохимические основаны на изучении газового состава подземной атмосферы и ее приземных слоев; при биохимических исследуется химический состав растений и их остатков.

Наибольшим распространением пользуются **литохимические методы**. Они проводятся по *первичным, вторичным ореолам и по потокам рассеяния* рудообразующих элементов-индикаторов.

**Поиски по первичным ореолам.** Литохимический метод поисков по первичным ореолам применяется на всех стадиях поисковых работ. Сущность метода заключается в определении состава и особенностей распределения химических элементов, образующих аномальные концентрации в руде и околорудном пространстве. Поиски по первичным ореолам основаны на опробовании коренных пород или обломочной фракции элювиально-делювиальных отложений. Отбор геохимических проб производится из естественных обнажений коренных пород, поверхностных и подземных горных выработок и керн скважин отдельно для неизмененных пород, зон тектонических нарушений, прожилково-вкрапленной, жильной, рудной и нерудной минерализации. Опробование производится методом пунктирной борозды путем отбора из интервала опробования около 10 мелких сколков. Интервал опробования определяется масштабом работ и сложностью геологического строения (табл. 2).

<i>Таблица 2</i>		
<b>Интервалы отбора геохимических проб при поисках по первичным ореолам</b>		
Масштаб работ	Расстояние между профилями, м	Интервал опробования в профиле, м
1:50 000	500	100-50
1:25 000	250	50-20
1:1000	100	20-10
1:5000	50	10-5
1:2000	20	5

Выявление и оконтуривание первичных ореолов осуществляется по результатам анализов геохимических проб по общепринятой методике (Инструкция по геохимическим методам, 1983), основанной на сравнении геохимических параметров с параметрами фонового распределения элементов. За величину последнего принимается среднеарифметическое

содержания элементов из всей выборки проб, отобранных из вмещающих пород, не затронутых какими-либо рудообразующими процессами.

Характерной особенностью первичных ореолов является горизонтальная и вертикальная зональность их строения, выражающаяся в закономерном изменении концентрации некоторых химических элементов в надрудных, околорудных и подрудных частях ореолов. Зональность ореолов обусловлена неравномерным, дифференцированным распределением или перераспределением в ореолах различных химических элементов при их миграции в процессе рудогенеза. Геохимическая зональность первичных ореолов особенно четко проявляется в изменении отношения содержаний легкоподвижных и малоподвижных элементов-индикаторов оруденения друг к другу и к основному рудному компоненту в различных частях ореола. Рассматриваемая зональность позволяет отличать обнажающиеся на поверхности надрудные срезы месторождения от подрудных.

На некоторых месторождениях первичные ореолы часто незначительны как по размерам, так и по интенсивности. Для выявления подобных ореолов достаточно эффективным является способ перемножения содержаний элементов-индикаторов и выделения на этой основе так называемых мультипликативных ореолов, которые по сравнению с моноэлементными более значительны по размерам и контрастности вследствие направленного усиления коррелирующих полезных сигналов. Мультипликативные ореолы, как правило, обнаруживают более тесную связь с геолого-структурными особенностями месторождений полезных ископаемых, облегчая и повышая надежность интерпретаций аномалий.

Мультипликативные количественные показатели широко используются для расчетов коэффициентов зональности ореолов (отношение содержаний элементов-индикаторов в надрудных и подрудных

частях ореолов, например, для золото-сульфидных месторождений -  $Ag \times Pb \times Ba / Cu \times Ni \times Co$ ), позволяющих различать фронтальные, центральные и тыловые по отношению к рудным залежам зоны. Использование коэффициентов зональности позволяет определить положение прогнозируемых рудных зон относительно выявленного среза ореола (уровень эрозионного среза месторождения) и установить пространственное положение и элементы залегания рудных зон (положение внутренних зон, падение, склонение рудных зон и т. д.).

***Поиски по вторичным ореолам.*** Различают остаточные (или механические) ореолы, обязанные рассеянию в элювиальных продуктах выветривания коренной минерализации, и наложенные - солевые ореолы, образующиеся в дальнепривносных рыхлых отложениях (эоловых, морено-ледниковых, аллювиальных и т.д.), перекрывающих выходы месторождений. Наиболее эффективны поиски месторождений по остаточным механическим ореолам в рыхлых отложениях, перекрывающих выходы месторождений.

Литохимические поиски по механическим ореолам используются в широком диапазоне ландшафтно-поисковых условий, как в аридных, так и в гумидных районах. Применение этого метода ограничивается главным образом отсутствием материала для отбора проб, в условиях развития каменных осыпей, болот, мерзлотных склонов с малой мощностью сезонного оттаивания, эоловых образований и др.

Поиски рудных полей и месторождений по вторичным ореолам рассеяния элементов-индикаторов и их спутников в продуктах выветривания, элювиально-делювиальных отложениях или почвах проводятся в масштабе 1:50 000 - 1:10 000. Металлометрическое опробование выполняется обычно по системе профилей, ориентированных

вкрест простирания рудоносных структур. Рекомендуемые интервалы опробования приведены в табл. 3.

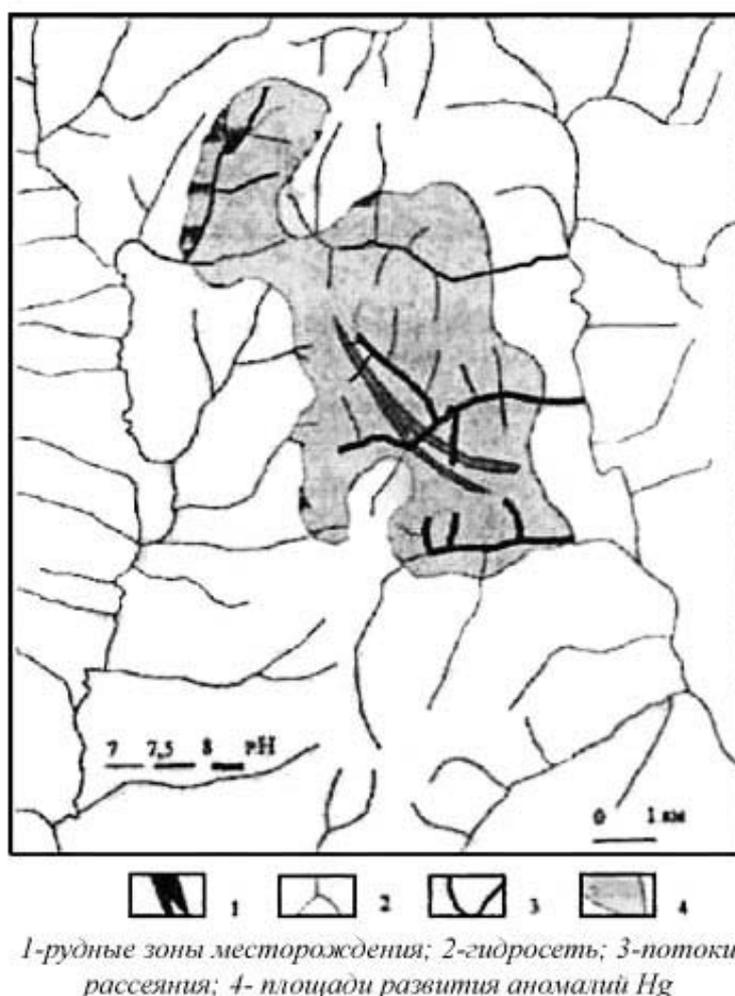
Интервалы отбора геохимических проб при поисках по вторичным ореолам

<i>Таблица. 3.</i>		
<b>Интервалы отбора геохимических проб при поисках по первичным ореолам</b>		
Масштаб работ	Расстояние между профилями, м	Интервалы опробования в профилях, м
1:50 000	500	50
1:25 000	250	50-25
1:1000	100	25-20
1:5000	50	20-10
1:2000	25	10

Наложенные солевые ореолы рассеяния относятся к разряду слабых геохимических аномалий с максимальными содержаниями рудных элементов, соизмеримых с колебаниями местного фона. Наиболее благоприятные условия для образования солевых наложенных ореолов рассеяния возникают при гипергенных изменениях сульфидных месторождений (медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических, медно-порфириновых, золото-сульфидных и др.), имеющих многокомпонентный состав и относительно высокие *кларки* концентраций химических элементов в рудах.

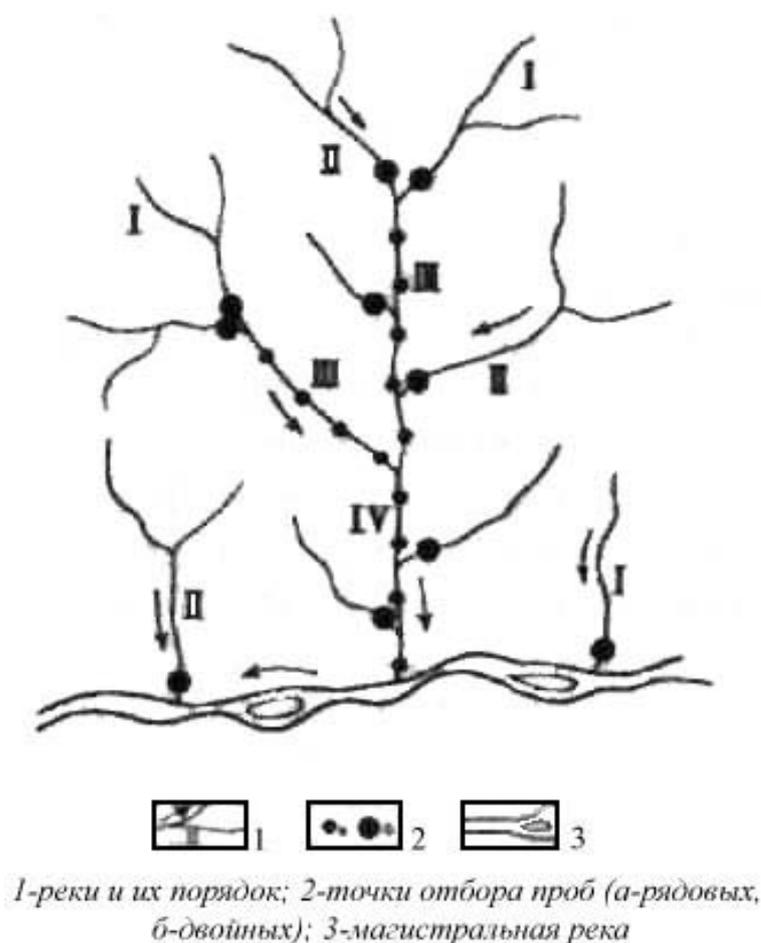
Обнаружение этих слабых ореолов производится с применением методик анализа и обработки геохимических данных, которые позволяют усиливать контрастность аномалий. Усиление слабых литохимических аномалий достигается: применением избирательного анализа измененных подвижных форм элементов из ореолообразующей среды; привлечением специальных методов опробования; математической обработкой поисковых данных, понижающих флуктуации геохимического поля; повышением прецизионности анализов проб.

К числу таких методов, позволяющих усиливать контрастность наложенных солевых аномалий, относится ионно-потенциметрический метод, основанный на измерениях  $pH$ ,  $Eh$  и определении концентрации ионов  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Br^-$  и некоторых других. Эти компоненты, обладающие высокой подвижностью в зоне гипергенеза, способны формировать аномалии над погребенными месторождениями при мощности перекрывающих рыхлых отложений в десятки метров (рис.3). Изучение вторичных ореолов рассеяния ионов проводится по профилям вкрест простирания рудоносных структур из верхних почвенных горизонтов с глубиной 0,2 м.



**Рис. 3** Соотношение аномалий  $pH$  и золоторудных зон  
Наталкинского месторождения

**Поиски по потокам рассеяния** - один из основных геохимических методов поисков месторождений твердых полезных ископаемых в активно денудлируемых горно-складчатых районах. Поиски наиболее полно отвечают задаче ускоренного изучения обширных геологически слабоизученных рудных районов, т. к. позволяют в короткие сроки и с малыми затратами исследовать территории в десятки и сотни квадратных километров для постановки более детальных исследований. Они наиболее эффективны для элементов индикаторов и спутников рудной минерализации, которые обладают хорошей миграционной способностью в поверхностной водной среде - золото, серебро, цинк, медь, свинец, молибден, уран, в меньшей степени - никель, мышьяк, сурьма и ртуть.



**Рис. 4. Схема отбора проб при литохимических съемках по потокам рассеяния масштаба 1:2000000**

Литохимические съемки проводятся путем систематического отбора проб из аллювиальных отложений гидросети в пределах сухой пойменной части водотоков, реже - из-под воды. Плотность отбора зависит от степени эрозионного расчленения местности, разветвленности гидросети и выбранного масштаба поисковых работ. Отбор проб начинается в 50 - 100 м выше устьев опробуемых водотоков старших порядков и заканчивается в устьях рек II - I порядка (рис.4).

Геологический осмотр потоков рассеяния начинается с осмотра русел с максимальным содержанием элементов, а затем распространяется на прилегающие склоны и водоразделы. Цель осмотра - обнаружение коренных выходов рудных тел или рудных свалов.

*Гидрохимический метод* поисков основан на выявлении в природных водах гидрохимических аномалий - участков распространения подземных или поверхностных вод, несущих повышенные концентрации элементов-индикаторов месторождений, хорошо мигрирующих в водной среде. К их числу относятся медь, свинец, цинк, никель, кобальт, молибден, мышьяк, йод, бром и ряд других элементов. Концентрации отдельных рудных компонентов в гидрохимических аномалиях по сравнению с фоновыми значениями в водах поверхностного и подземного стока могут возрастать на несколько порядков. Аномальные содержания рудных элементов в поверхностных и подземных водах сохраняются на расстояниях до 1000 м (иногда несколько километров) от месторождения. Отбор гидрохимических проб осуществляется из рек, ручьев, колодцев, родников, горных выработок и скважин, вскрывающих водоносные горизонты с последующим анализом микроэлементного состава воды.

Наиболее благоприятными объектами для гидрохимического метода поисков являются месторождения природных солей, в частности поисковым признаком месторождений калийных солей служит повышенная величина в пробах отношения  $V/Cl$  (более 15) и  $K/Br$  (более

10) при содержании хлора более 150 г/кг. Среди рудных месторождений - сульфидные месторождения, в первую очередь медноколчеданные, колчеданно-полиметаллические и медно-никелевые. Вблизи сульфидных месторождений в водах резко возрастает содержание не только рудных элементов, но и сульфид-иона без существенных концентраций гидрокарбонатного иона и хлора.

Гидрохимический метод относится к числу глубинных методов поисков месторождений в коренных породах. Глубинность метода определяется врезом долины и составляет в среднем 200 - 500 м. Для восходящих напорных вод может достигать 1 км. Характеризуя возможности этого метода, необходимо отметить зависимость его результатов от различий в гидродинамическом режиме вод разных глубин, сезонных колебаний уровня грунтовых вод, выпадения атмосферных осадков, режима гидростока рек и других факторов, что существенно осложняет интерпретацию и оценку гидрохимических аномалий.

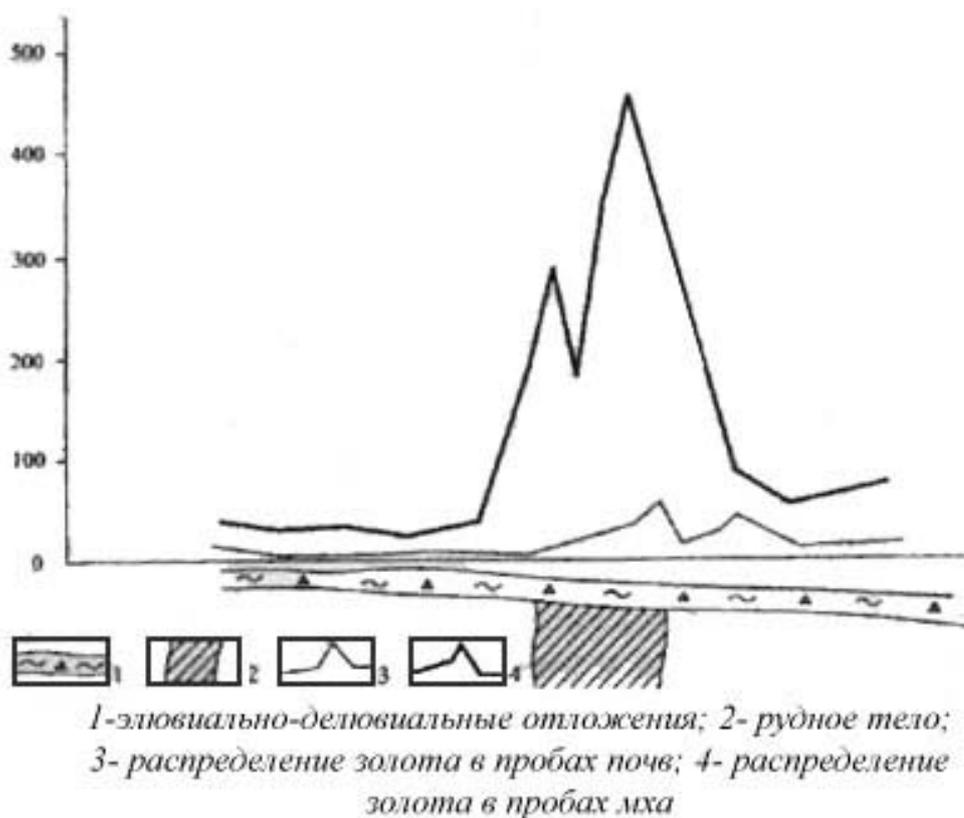
**Биохимические методы** поисков месторождений полезных ископаемых основаны на способности организмов отражать в химическом составе, видовых ассоциациях и морфологии организмов особенности среды обитания.

Данные методы разделяются на собственно **биогеохимические**, основанные на анализе химического состава организмов и продуктов их жизнедеятельности (растений, торфа, растительного опада и т.д.), и **биологические**, использующие приуроченность специфических организмов и их сообществ к участкам среды с определенными особенностями химического состава. В настоящее время практическое значение имеет только геоботанический метод, использующий в качестве объектов опробования наземные растения и их остатки (торф, лесную подстилку и гумусовый горизонт почв).

Резко проявленные изменения химического состава почв и почвообразующих пород (в частности, появление высоких концентраций рудных элементов) могут вызвать местные изменения биологических особенностей растений, выражающиеся в смене видового состава растительных ассоциаций и появлении специфических растений, являющихся индикаторами на определенные химические элементы; в появлении необычных форм растений, изменении темпов их развития, угнетении растений или, наоборот, их повышенном росте и т. д.

Сущность метода состоит в выявлении вторичных ореолов рассеяния путем анализа особенностей распределения химических элементов - индикаторов оруденения в растениях и их остатках. Над всеми типами месторождений в различных ландшафтно-геохимических условиях наблюдается накопление рудных элементов в растениях. При высоких концентрациях химических элементов в питающей среде большинство (95%) видов и частей растений, а также их остатков (биообъектов) накапливают элементы.

В поисковых целях используется небольшое число видов растений и их частей, которые накапливают рудные элементы линейно-пропорционально содержанию их в питающей среде. Определяется содержание рудных элементов в пробах растительности после их озоления. В одну пробу отбирается масса растений с площади в несколько квадратных метров. У древесных растений (сосны, лиственницы, осины и др.) опробуется верхний пробковый слой коры, в котором накапливается уран, свинец, цинк, бериллий, фтор, литий, цирконий и ряд других элементов. Биогеохимические поиски золоторудных месторождений эффективны при использовании для опробования коры и листьев березы, хвой и сухих ветвей лиственницы, сосны, а также полыни, саксаула, верблюжьей колючки и живого мохо-лишайникового покрова (биогеохимический метод поисков) (рис. 5).



**Рис. 5** Распределение золота в пробах мха и почв на Олимпиадинском месторождении

Глубинность биохимического метода поисков выше, чем глубинность других поверхностных геохимических методов. Максимальная мощность рыхлых отложений, ограничивающая возможность метода в степных и пустынных районах, составляет 20 - 50 м, в лесных районах гумидной зоны - 10 - 20 м, в районах с многолетней мерзлотой не превышает 3- 10 м. Его применение оправдано лишь в тех геологических и ландшафтных условиях, когда выявление вторичных литохимических ореолов и потоков рассеяния затруднено. Необходимо также отметить, что сложность интерпретации биогеохимических аномалий, связанная с необходимостью учета биологических, техногенных и антропогенных (выбросы и отходы горных и промышленных предприятий, загрязнение растений при перевозке руд, внесение в почву различных микроэлементных удобрений и

др.) факторов на концентрацию металлов в золе растений, заметно снижает достоверность результатов биохимических методов поисков.

*Атмохимические (газовые) методы* поисков месторождений основаны на исследовании подземной атмосферы и ее приземного слоя - химического состава газов, насыщающих горные породы: углекислого газа, метана, сероводорода, сернистого газа, паров ртути и некоторых других газов. Важное практическое значение при поисках погребенных месторождений имеет большая проникающая способность газовых компонентов, мигрирующих на значительные расстояния от рудных тел через перекрывающие толщи рыхлых отложений. Атмохимические поиски в целом являются косвенными, однако тщательный анализ физико-химических условий образования газовых ореолов часто дает достаточные основания для уверенной геологической интерпретации выявленных аномалий и установления связи с месторождениями.

Рудные месторождения при атмохимических съемках по свободным почвенным газам могут фиксироваться максимальными содержаниями  $\text{CO}_2$ , достигающими 3,0 % (при фоне 0,3 %),  $\text{CH}_4$ - 0,01 % (фон - 0,0001 %),  $\text{H}_2$ - 0,01 % (фон- 0,0002 %) и минимумом  $\text{O}_2$ - 15 % при фоне 20,6 %. Размеры линейных атмохимических аномалий, как правило, превышают размеры месторождений в 3 - 10 раз и могут достигать размера 5-15 км на 0,2 - 0,8 км.

Метод может быть применен в различных ландшафтных обстановках при поисках рудных месторождений, выведенных на древнюю денудационную поверхность и перекрытых рыхлыми палеоген-четвертичными отложениями мощностью от 20-100 до 500 м.

Атмохимические поиски рудных месторождений не проводятся в условиях выхода рудоносного субстрата на современную дневную поверхность, т. к. в этом случае рационально применяются прямые литохимические поиски по вторичным остаточным ореолам рассеяния.

Широкое распространение при поисках получили газортутные съемки. Геохимическое сродство ртути с серой определяет ее принадлежность к числу халькофильных элементов и повышенное содержание в сульфидных минералах. Замечательное свойство ртути - высокая летучесть и способность восстанавливаться в гипергенных условиях до самородного состояния.

подавляющее большинство нертутных сульфидсодержащих месторождений несут повышенные концентрации ртути, увеличивающие содержание ртути во вмещающих породах в 5 - 1000 раз, что является достаточным для формирования значимых газортутных ореолов. Содержание ртути в ореолах колеблется от  $n \times 10^{-6} \%$  до  $n \times 10^{-4} \%$  в зависимости от минерального типа руд и количества ртути, находящегося в качестве примеси в минералах руд. Параметры ореолов также варьируют для разных типов руд. По мощности и протяженности ореолы ртути соответствуют размерам рудных зон, иногда в 1,5 - 2 раза превышая их. Глубинность газортутного метода при поисках медных и свинцово-цинковых месторождений достигает 350 м, ртутных и сурьмяных - 400 м. Для накопления и сохранения аномальных паров ртути необходимо наличие рыхлых перекрывающих отложений. На развитие газовых ореолов в почвенном воздухе влияет характер рыхлых отложений. Наименее благоприятны щебенистые и торфянистые отложения, которые из-за сильной аэрации плохо хранят и накапливают пары ртути.

## **Тема 7. Геофизические методы**

Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых основаны на изучении естественных или искусственно создаваемых физических полей, в которых отражаются различия горных пород и руд по физическим свойствам.

По видам изучаемых полей геофизические методы подразделяются на *магнитометрические, гравиметрические, электроразведочные, сейсморазведочные* и *ядерно-физические*. По месту проведения измерений выделяются воздушные, морские (в том числе подводные), наземные, подземные съемки, скважинные исследования и лабораторные определения.

*Магнитометрические методы* (магниторазведка) объединяют геофизические методы, которые в целях решения тех или иных геологоразведочных задач прибегают к изучению магнитного поля Земли. Характер последнего зависит от состава и строения геологических образований, слагающих тот или иной участок земной коры.

В качестве прямого поискового метода магнитометрическая съемка используется для выявления и оценки магнетитовых и титаномагнетитовых месторождений, руды которых обладают высокой магнитной восприимчивостью. На основе этих съемок выявляются и оконтуриваются аномальные магнитные поля, соответствующие рудным залежам, детализируются и оцениваются их аномальные участки, зоны и локальные аномалии.

При поисках других полезных ископаемых магниторазведка позволяет выявлять те или иные факторы, контролирующие оруденение, либо обнаруживать рудные тела по наличию в них сопутствующих ферромагнитных минералов на некоторых медно-никелевых, хромитовых и слабомагнитных железорудных месторождениях. При этом применение магнитных съемок эффективно, если объекты поисков расположены в разрезах слабомагнитных пород. При поисках полиметаллических месторождений, месторождений бокситов, россыпных месторождений и ряда других полезных ископаемых магниторазведка поставяет косвенные данные.

При решении разнообразных поисково-картировочных задач в зависимости от геологического строения изучаемой площади широко применяются аэромагнитные съемки. Аэромагнитные съемки являются основным геофизическим методом поисков кимберлитовых трубок в России и за рубежом. В частности, с их помощью выявлены практически все известные на сегодняшний день объекты в Архангельской области. Средневысокомагнитные кимберлитовые трубки в магнитном поле выделяются положительными локальными аномалиями, имеющими в плане преимущественно изометричную или овальную форму. Вместе с тем при использовании этого поискового метода будут пропущены слабомагнитные кимберлитовые тела.

Для месторождений, связанных с малыми магнетитсодержащими интрузиями, актуальны задачи их выявления и оконтуривания. Поисковый интерес представляют зоны экзо- и эндоконтактов интрузивов. В вулканогенных областях в магнитном поле картируются кольцевые структуры и линейные тектонические нарушения, имеющие рудоконтролирующее значение, а также вулканические сооружения. Пониженными магнитными полями выделяются участки, подвергшиеся гидротермальной проработке. Некоторые типы колчеданно-полиметаллических и золоторудных месторождений пространственно совпадают с зонами пирротиновой минерализации и отличаются повышенными значениями магнитного поля. Дайки основных пород создают узкие линейные аномалии магнитного поля значительной интенсивности. При детальном поиске магниторазведка позволяет выделять и проследить рудоконтролирующие зоны и кварцевые жилы, обогащенные магнититом и пирротинном.

**Гравиметрические методы** (гравиразведка) основаны на изучении гравитационного поля изучаемой территории и являются неотъемлемой частью геофизического комплекса на разных стадиях геологоразведочных

работ. Диапазон ее применения - от задач изучения глубинного строения земной коры, отдельных рудоконтролирующих структур и выявления рудоконтролирующих факторов до поисково-оценочных и разведочных задач. Объектами поисков являются залежи железных, хромитовых, медно-никелевых и других руд, значительно отличающихся по плотности от вмещающих пород. В гравитационном поле баритоносные горизонты, баритовые, барит-свинцово-цинковые тела также фиксируются положительными аномалиями силы тяжести.

Редкометалльные, медно-порфировые, золото-кварцевые рудные районы фиксируются минимумами гравитационного поля сложных очертаний, а размещение крупных объектов в рудных районах контролируется блоками пород повышенной плотности, искажающими эти минимумы.

Измерения гравитационного поля выполняются на поверхности суши, на море, в скважинах и подземных горных выработках. В значительных объемах проводятся аэрогравиметрические работы.

*Электроразведочные методы (электроразведка)* объединяют многочисленные геофизические методы, основанные на изучении постоянных и переменных электромагнитных полей естественных и искусственно создаваемых источников. Выделяются следующие группы методов.

1. Методы сопротивлений, основанные на изучении искусственно созданного поля постоянного тока (различные виды электропрофилирования, электрозондирования и метод заряда).
2. Методы изучения полей физико-химического происхождения (естественного поля, вызванной поляризации, частичного извлечения металлов и контактный способ поляризационных кривых).
3. Методы низкочастотного электромагнитного поля (индуктивные методы дипольного индуктивного профилирования, длинного кабеля,

переходных процессов; электромагнитные зондирования - частотные, становления поля; магнитотеллурические методы зондирования, профилирования и теллурических токов).

4. Радиоволновые методы (радиокомпарации и пеленгации, радиоволновое просвечивание).

Большинство перечисленных методов используется при наземных электроразведочных исследованиях, а также в скважинах и подземных горных выработках большого сечения, но некоторые низкочастотные и радиоволновые методы применяются и в аэроварианте.

*Электропрофилирование.* Сущность метода состоит в измерении кажущегося сопротивления установкой при ее перемещении вдоль заданных направлений (профилей). В практике работ наиболее широко применяются установки: четырехэлектродные симметричные (симметричное профилирование), срединных градиентов, совокупности двух-трехэлектродных установок (комбинированное профилирование) и дипольные (дипольное профилирование).

*Электронзондирование.* Метод применяют для установления глубины залегания горизонтальных или пологопадающих границ раздела пород с разными электрическими сопротивлениями. Основные геологические задачи: расчленение разреза осадочных толщ; картирование по латерали на глубину тектонических нарушений; зон трещиноватости, интрузивных образований; изучение поведения кровли фундамента; прослеживание зон рудной минерализации и оценка мощности рыхлых отложений, перекрывающих коренные породы.

*Метод заряженного тела,* называемый также методом заряда, используют в различных модификациях: заряженного тела, метод заряда с измерением магнитного поля, электрической корреляции, погруженного электрода. Метод основан на изучении характеристик электрического или магнитного тока, создаваемого разрядом, помещенным в горные породы.

Метод применяется на стадиях поисковых, поисково-оценочных и разведочных работ с целью обнаружения, прослеживания и определения элементов залегания и размеров преимущественно сульфидных рудных тел, главным образом на медно-колчеданных, колчеданно-полиметаллических, медно-никелевых и сульфидных золоторудных месторождениях. Реализуется при наличии на объекте исследований достаточного объема буровых работ, что ограничивает его широкое применение. Другие ограничения метода: развитие на объекте вкрапленной минерализации, высокая электропроводность перекрывающих объект пород.

*Метод естественного электрического поля* основан на изучении естественных электрических полей, обусловленных различными электрохимическими процессами, самопроизвольно протекающими в земной коре. Естественные поля имеют разную природу и связаны с разными геологическими объектами. Метод позволяет картировать разломы, зоны минерализации, сульфидизации, графитизации; проводить поиски сульфидных руд, магнетита, графита, антрацита, кимберлитовых трубок; картировать поверхности коренных пород под наносами повышенной электропроводности. Основные преимущества методов - высокая глубинность (до 1 км) и мобильность.

*Метод вызванной поляризации* основан на использовании электрохимических явлений, происходящих на границе обладающих ионной проводимостью пород или электронных проводников (руд) с окружающей их жидкостью - электролитом, под действием пропускаемого в земле электрического тока. Метод вызванной поляризации эффективно используется для поисков вкрапленного сульфидного оруденения.

При проведении поисковых работ методом вызванной поляризации сочетание измерений на земной поверхности и в скважинах позволяет получить представление о пространственной структуре поля вызванной

поляризации, уточнить положение руд в разрезе. С этой целью используют установки погруженного электрода и вертикального градиента, что существенно увеличивает разрешающую способность метода. Для установления возможной связи между рудными пересечениями соседних скважин применяются установки электрической корреляции.

*Дипольное индуктивное профилирование* применяется для поисков руд с высокой электропроводимостью и основано на изучении вихревых токов, искусственно наведенных в электропроводящих объектах, находящихся в окрестностях обследования. Характерной особенностью метода является его высокая разрешающая способность при разделении объектов по электропроводности.

*Метод переходных процессов* применяется для поисков месторождений сульфидных руд, имеющих очень высокую электропроводность. Метод обладает меньшей, чем другие методы электроразведки, чувствительностью к изменениям рельефа местности и мощности рыхлых отложений и обеспечивает большую, чем другие индуктивные методы, глубинность исследования.

*Радиоволновые методы* электроразведки основаны на изучении электромагнитных полей высокой частоты, создаваемых специальными портативными передатчиками либо вещательными радиостанциями. Основными из них являются:

а) метод радиокомпарации и пеленгации («радиокип»), который базируется на изучении полей дальних длинноволновых и сверхдлинноволновых радиостанций, уверенный прием волн которых наблюдается на расстояниях соответственно 1000 и 12 000 км;

б) метод радиоволнового просвечивания, основанный на изучении изменений электромагнитного поля, вызванных различной способностью поглощения электромагнитной энергии горными породами и рудами.

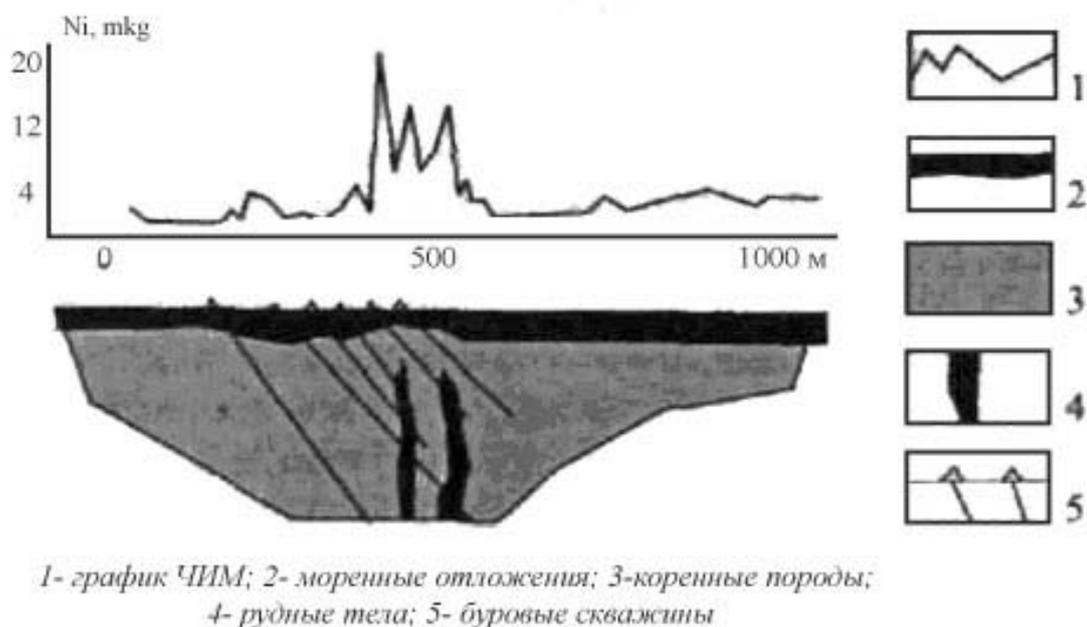
*Метод «радиокип»* применяется для геокартирования и поисковых работ масштаба 1:50 000- 1:25 000 в районах с малой (первые метры) мощностью поверхностных отложений при выявлении прямых поисков хорошо проводящих медноколчеданных и медно-никелевых руд на малых глубинах, а также косвенных поисков медно-порфировых, золоторудных в терригенных толщах, золото-серебряных в вулканических поясах месторождений.

*Радиоволновое просвечивание* применяется при поисках и разведке сульфидных, золото-сульфидных, золото-серебряных, олово- и вольфрамо-полиметаллических рудных тел, железорудных месторождений, кимберлитовых трубок, пьезокварцевых полостей, угольных пластов в межскважинном, окоლოსкважинном, межвыработочном пространствах.

*Геоэлектрохимические методы* основаны на реализации электронных преобразований в форме электрохимических реакций электрического поля, вызванных либо искусственным электрическим возбуждением, либо вещественными изменениями, происходящими в естественных геологических процессах.

Наиболее широко распространен геоэлектрохимический метод, основанный на частичном (избирательном) извлечении металлов (ЧИМ), сущность которого состоит в электрохимическом растворении рудных элементов при пропускании постоянного электрического тока между заземлениями, перемещении растворенных веществ в поле электрического тока, накоплении их в элементоприемниках и регистрации накопленных компонентов химическими или другими методами анализа. Метод частичного извлечения металлов предназначен для выявления и прослеживания глубокозалегающих месторождений меди, свинца, цинка, никеля, олова, молибдена и других элементов, в том числе и на закрытых территориях под покровом рыхлых отложений мощностью до 200 м, а

также для разбраковки геофизических аномалий и выделения рудных интервалов при каротаже скважин (рис.6).



**Рис. 6 Результаты наблюдений методами ЧИМ  
на медно-никелевом месторождении**

**Сейсморазведка** основана на изучении распространения в земной коре упругих волн, возбуждаемых искусственным путем: взрывом, ударом или вибрацией. Сейсмические исследования, проводимые при поисках месторождений, называют рудной сейсморазведкой. Ее задачей является изучение как геологического строения района, так и отдельных структур, с которыми могут быть связаны рудные месторождения, прослеживание зон разрывных нарушений, контактов (в том числе на глубину), определение рельефа коренных пород.

Сейсморазведка успешно применяется при крупномасштабных картировочных и поисковых работах для локализации в разрезе геологических неоднородностей (рудных тел, кимберлитовых трубок, зон трещиноватости и других), расчленения разрезов при поисках глубокозалегающих месторождений полиметаллов, никеля, железа, апатитов, серы и других полезных ископаемых.

**Ядерно-геофизическая разведка** включает в себя группу методов, основанных на изучении естественной и искусственной радиоактивности.

Среди методов, использующих естественную радиоактивность, основное значение имеют радиометрические методы поисков месторождений радиоактивных руд, фосфоритовых, танталовых, ниобиевых, редкоземельных и других месторождений, руды которых содержит примеси радиоактивных металлов, а также для установления закономерностей распределения радиоактивных элементов: урана, тория и калия - в составе площадных метасоматитов, сопровождающих некоторые типы месторождений благородных и других металлов.

*Методы, основанные на изучении искусственной радиоактивности,* используются для поисков месторождений тяжелых металлов: свинца, цинка, молибдена, ртути, сурьмы и др. Однако основная область применения ядерно-геофизических методов с использованием искусственных источников излучения - определение вещественного состава и физических свойств пород и руд в условиях естественного залегания. Существенное место ядерно-геофизические методы занимают в комплексе скважинных исследований.

**Геофизические исследования скважин (ГИС)** являются неотъемлемой частью геологоразведочного процесса и при работах на рудное и нерудное сырье позволяют решать следующие поисковые и оценочные задачи: литологическое расчленение разреза; выделение рудных интервалов, их глубины и мощности; определение элементного состава руд; поиски и прослеживание магнитных руд и зон в околоскважинном пространстве; изучение физико-механических свойств руд и пород. Для этого используются различные модификации электрических, электромагнитных и магнитных методов, ядерно-геофизические методы, акустический каротаж.

### РАЗДЕЛ 3. ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ОЦЕНКА ВЫЯВЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

#### Тема 8. Задачи оценки. Понятие о кондициях

Промышленную ценность обычно представляет не все разведанное месторождение в его геологических границах, а только определенная часть, которая по качеству сырья и условиям залегания пригодна для рентабельной эксплуатации. В ряде случаев месторождения вообще не имеют геологических границ и пригодные для промышленной отработки объемы руд определяются по некоторым предельным значениям содержаний полезных компонентов.

Таким образом, на самом деле для промышленности более важными являются не геологические, а экономические границы рудных тел. Эти границы определяются не только содержаниями полезных компонентов, но и мощностью рудных тел, глубиной залегания, условиями эксплуатации и т. д.

**Кондиции** - это совокупность требований к качеству сырья в недрах и горнотехническим условиям эксплуатации, установленных в виде конкретных значений некоторых предельных показателей; они служат для разделения запасов в недрах на промышленную и непромышленную, на балансовую и забалансовую части (Каждан, 1985; Прокофьев, 1973; Шумилин, 1998). Кондиции устанавливаются на основе технико-экономических расчетов с учетом современного состояния экономики, технологии добычи и переработки сырья. Поэтому периодически возникает необходимость пересмотра кондиций.

Кондиции устанавливаются для каждой стадии геологоразведочных работ. В настоящее время в нашей стране выделяются разведочные и

эксплуатационные кондиции. Разведочные, в свою очередь, подразделяются на временные и постоянные.

Временные разведочные кондиции разрабатываются на стадии предварительной разведки месторождения и служат основой для его предварительной оценки и решения вопроса о целесообразности детальной разведки и инвестировании соответствующих средств.

Постоянные разведочные кондиции разрабатываются на стадии завершения детальной разведки. Они служат основой для промышленной оценки месторождения, проектирования разработки и целесообразности капиталовложений в создание добывающего предприятия.

Разработка кондиций осуществляется путем составления специального документа - технико-экономического обоснования кондиций (ТЭО). ТЭО разведочных кондиций должно содержать геологическое, горнотехническое, технологическое, экологическое и экономическое обоснование, разрабатываемое с максимальным учетом реальных условий, что должно обеспечить требуемый уровень достоверности. ТЭО кондиций подлежат государственной экспертизе.

После окончания разведки (иногда через значительный промежуток времени) уже в процессе разработки обычно возникает необходимость адаптации усредненных параметров разведочных кондиций к конкретным участкам месторождения. С этой целью разрабатываются эксплуатационные кондиции.

Эксплуатационные кондиции разрабатываются на основе проекта отработки месторождения с учетом конкретных планов развития горных работ, графиков ежегодного объема добычи, уточненных величин капитальных и эксплуатационных затрат, уточненной схемы и показателей процесса переработки сырья в конечный продукт. При этом учитываются также изменения цен на реализуемую конечную продукцию и другие изменения экономических условий.

К числу основных кондиционных показателей относятся:

1. Минимальное промышленное содержание полезного компонента в подсчетных блоках.
2. Бортовое содержание полезного компонента, при котором производится оконтуривание балансовых запасов, при отсутствии четких геологических границ.
3. Нижний предел содержания полезного компонента для оконтуривания забалансовых запасов.
4. Максимально допустимое содержание вредных примесей в руде.
5. Попутные компоненты, запасы которых подлежат учету, и минимальное их содержание в руде.
6. Требования о выделении типов и сортов руд.
7. Минимальная мощность тел полезных ископаемых, включаемая в подсчет запасов.
8. Максимальная допустимая мощность прослоев вмещающих пород и некондиционных руд, включаемых в контур промышленных руд.

### **1. Минимальное промышленное содержание**

Это наиболее ответственный обобщающий показатель кондиций, определение которого связано с трудоемкими специальными технико-экономическими расчетами.

Минимальное промышленное содержание представляет собой нижний предел среднего содержания полезного компонента в рудах, запасы которых относятся к балансовым. Оно рассчитывается для отдельных подсчетных блоков.

Предел экономической целесообразности промышленного использования полезного ископаемого определяется равенством издержек производства по добыче и переработке полезного ископаемого и

стоимости ценных компонентов, извлекаемых из переработанного минерального сырья:

$$C_{\min} \times K_p \times K_{об} \times K_M \frac{Ц_M}{C_M} = S_D + S_{об} + S_M,$$

отсюда

$$C_{\min} = \frac{(S_D + S_{об} + S_M) C_M}{Ц_M \times K_p \times K_{об} \times K_M},$$

где  $C_{\min}$  - минимальное промышленное содержание полезного компонента в подсчетном блоке, %;

$S_D$  - себестоимость добычи 1 т полезного ископаемого и доставка его до бункера обогатительной фабрики, руб.;

$S_{об}$  - себестоимость обогащения 1 т полезного ископаемого, руб.;

$S_M$  - себестоимость металлургического передела (включая транспортировку до перерабатывающего предприятия), отнесенная на 1 т полезного ископаемого, руб.;

$K_p$  - коэффициент, учитывающий разубоживание  $\frac{100-p}{p}$ ; где  $p$  - разубоживание при добыче, %;

$K_{об}$  - коэффициент извлечения полезного компонента при обогащении;

$K_M$  - коэффициент извлечения полезного компонента при передаче;

$Ц_M$  - цена полезного компонента в готовом продукте, руб.;

$C_M$  - содержание полезного компонента в готовом продукте, %.

Все входящие в расчет показатели представляют собой переменные и взаимозависимые величины. Они зависят от геологических особенностей месторождения, проектируемого способа разработки и переработки минерального сырья, технической оснащенности и уровня организации производства, географо-экономических условий района и ряда других факторов. Это и делает минимальное промышленное содержание важнейшим обобщающим показателем кондиций, в котором находят

отражение все основные факторы, определяющие реальную ценность данного месторождения. Основное назначение его - разделение разведанных запасов в недрах на балансовые и забалансовые.

Минимальное промышленное содержание является таким содержанием, при котором обеспечивается безубыточное использование данного сырья в настоящее время. Фактическое содержание полезного компонента всегда выше, чем минимальное промышленное, этим обеспечивается возможность получения прибыли. Поэтому распространение его на все месторождения или на крупные его части недопустимо. Обычно оно относится к каждому подсчетному блоку, объемы которых, как правило, не превышают полугодовой или годовой производительности предприятия.

При расчете минимальных промышленных содержаний полезных компонентов в комплексных рудах содержания этих компонентов выражают в условных единицах основного, ведущего компонента. Например, для медно-колчеданных руд содержания полезных компонентов (меди, свинца, цинка) могут быть выражены в «условной меди». Перевод содержаний металлов в содержание условного основного компонента проводится с помощью переводных коэффициентов, величина которых зависит от цены на соответствующий металл и сквозного коэффициента извлечения его в готовую продукцию. Расчет переводных коэффициентов производится по формуле:

$$K_1 = \frac{C_1 \times I_1}{C_0 \times I_0},$$

где

$C_0$  - цена основного компонента;

$C_1$  - цена другого компонента;

$I_0, I_1$  - сквозные коэффициенты извлечения обоих компонентов к готовую продукцию.

Схема пересчета содержаний металлов в комплексной руде в условный металл может быть показана на следующем примере (табл. 4); товарным продуктом в данном случае является концентрат.

**Таблица 4**

**Расчет переводных коэффициентов  
(все цифры - условные)**

Металлы	Содержание металла в руде, %	Цена 1 т металла в концентрате, Ц, руб.	Извлечение металла в концентрат, И, %	Переводной коэффициент, К
Медь (основной металл)	0,8	$C_0 = 470$	$I_0 = 90$	$K_0 = 1,00$
Свинец	0,7	$C_1 = 420$	$I_1 = 45$	$K_1 = 0,45$
Цинк	0,6	$C_2 = 300$	$I_2 = 40$	$K_2 = 0,28$

$$K_1 = \frac{C_1 \times I_1}{C_0 \times I_0} = \frac{420 \times 45}{470 \times 90} = 0,45$$

$$K_2 = \frac{C_2 \times I_2}{C_0 \times I_0} = \frac{300 \times 40}{470 \times 90} = 0,28$$

Содержание условной меди:

$$C_{Cu} = 0,8 \times K_0 + 0,7 \times K_1 + 0,6 \times K_2 = 0,8 + (0,7 \times 0,45) + (0,6 \times 0,28) = 1,28\%$$

Это содержание и сопоставляется с рассчитанным минимальным промышленным содержанием.

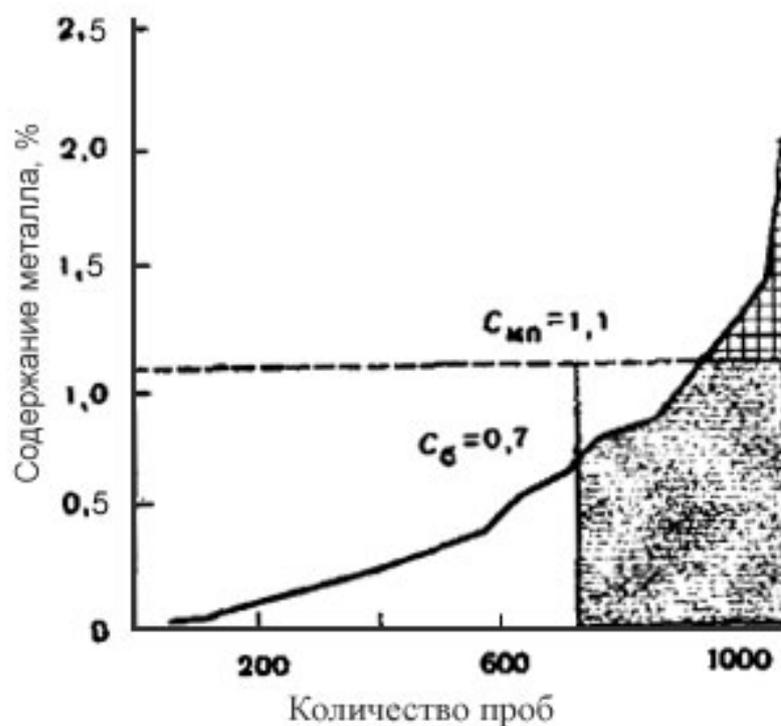
При расчете минимальных промышленных содержаний следует учитывать дополнительные поступления средств: от реализации попутно извлекаемых редких и рассеянных элементов, использования сопутствующих полезных ископаемых (породы-вскрыши, хвосты обогатительных фабрик) и т. д. Эти средства должны быть исключены из суммы общих затрат.

## **6.2. Бортовое содержание**

При отсутствии четких геологических границ оконтуривание тел полезных ископаемых производится на основе данных опробования по некоторым расчетным величинам содержаний. В одних случаях используются величины минимальности промышленного содержания, в других - значительно чаще - специально определяют значения бортовых содержаний. Бортовое содержание - это такое минимальное содержание полезного компонента в крайней пробе, при котором данная проба еще включается в контур балансовых запасов. От величины принятого бортового содержания зависят размеры и качество выделяемых залежей. Чем ниже бортовое содержание, тем крупнее залежь и тем ниже среднее содержание полезного компонента в ней. Поэтому при оконтуривании требуется выбрать оптимальную величину бортового содержания, при котором достигается наиболее полное извлечение полезного ископаемого при обеспечении достаточной рентабельности отработки. Оптимальное значение бортового содержания может колебаться от минимального промышленного до содержания полезного компонента в хвостах обогащения. В отличие от минимального промышленного содержания обосновать оптимальное значение бортового содержания прямыми расчетами невозможно. Реально величину бортового содержания обычно находят методом вариантов, оконтуривая месторождение по нескольким значениям бортовых содержаний и просчитывая для каждого все технико-экономические показатели освоения (количество запасов, условия их залегания и разработки, качество, годовую производительность предприятия, уровень затрат, прибыль от реализации продукции и т.д.), по оптимальным значениям которых и выбирается лучший вариант и соответствующая ему величина бортового содержания.

Как было отмечено выше, со снижением величины бортового содержания снижается и среднее содержание полезного компонента в

оконтуренном объеме. Следовательно, можно найти такое бортовое содержание, при котором фактическое среднее содержание будет равно минимальному промышленному. Это значение - нижний предел ( $C_{н.п.}$ ). Таким образом, оптимальное значение находится между указанными пределами:  $C_{н.п.} < C_{опт} < C_{мин.}$ . Величина нижнего предела бортового содержания может быть определена статистическим способом. Для этого строится кумулятивная кривая по содержаниям металла во всей совокупности имеющихся по данным разведки проб (разбитых на пласты содержаний). Полученная кривая разделяется уровнем минимального промышленного содержания на два отрезка. Затем в области между кривой и ниже уровня минимального промышленного содержания отыскивается площадь, равновеликая той, которая ограничена кривой над уровнем  $C_{мин.}$  Полученное на кумулятивной кривой значение и будет нижним пределом (рис. 7).



**Рис. 7** Определение нижнего предела бортового содержания полезного ископаемого в пробах

Для оконтуривания забалансовых запасов как раз и устанавливаются наиболее низкие из возможных значений бортового содержания, при котором еще практически возможно извлечение полезных компонентов из добытого сырья.

Разработка других из перечисленных ниже показателей кондиций также опирается на экономические расчеты.

*Максимально допустимое содержание вредных примесей в руде* в ряде случаев определяется техническими требованиями. Для многих видов минерального сырья уровень максимально допустимых вредных примесей для каждого типа и сорта устанавливается по результатам технологических испытаний, а расходы, связанные с удалением их при переработке, учитываются в общих затратах при расчете минимального промышленного содержания.

*Попутные компоненты, запасы которых подлежат учету.* Помимо тех компонентов, которые учитываются в единицах условного основного компонента при обосновании минимального промышленного содержания, кондициями определяется перечень подлежащих оценке сопутствующих компонентов (например, рассеянные компоненты, благородные металлы в рудах месторождений цветных металлов) и устанавливаются предельно допустимые среднеблочные содержания каждого из них.

*Технологические типы и сорта минерального сырья.* При наличии в месторождении нескольких типов и сортов руд каждый из них учитывается и подсчитывается отдельно. Если они могут быть оконтурены или добыты самостоятельно, для каждого из них рассчитываются минимальные промышленные содержания и другие показатели кондиций. Если же они не выделяются при разведке самостоятельными контурами, учет их производится статистическими методами.

*Минимальная мощность тел полезных ископаемых, включаемая в подсчет запасов*, рассчитывается в зависимости от устойчивости, формы, степени выдержанности залежи и характера ее контактов. Например, выдержанные крутопадающие тела отрабатываются при мощностях 0,7-1м; для пологозалегающих тел рабочая мощность увеличивается до 1,5 - 2 м. При этом обеспечивается возможность добычи без подрыва вмещающих пород и чрезмерного разубоживания.

Для оконтуривания маломощных рудных тел с повышенными содержаниями металлов используется дополнительный кондиционный показатель - минимальный метропроцент, представляющий собой произведение рабочей мощности залежи на минимальное промышленное содержание. Применение этого показателя позволяет включить в промышленный контур некоторые маломощные части рудных тел - при условии, что разубоживание за счет неизбежной выемки вместе с рудой боковых пород будет компенсировано повышенным содержанием полезного компонента в данном участке.

*Максимально допустимая мощность прослоев вмещающих пород и некондиционных руд, включаемых в контур промышленных руд*. Иногда при сложном строении залежей включение вмещающих пород в промышленный контур позволяет сделать его более простым и удобным для подсчета запасов и последующей разработки. Однако это неизбежно приводит к разубоживанию. Поэтому необходимы расчеты, при этом иногда приходится рассчитывать различные варианты, предусматривающие разные размеры включаемых в контур пустых пород. Расчеты этих вариантов подобны тем, что выполняются при поисках оптимального бортового содержания.

Практически все показатели кондиций связаны между собой и оказывают взаимное влияние друг на друга. Изменение любого из них приводит к изменению объема тел полезных ископаемых, запасов руды и

металла, качества сырья, методов и масштабов добычи. Поэтому выбор оптимальных значений является весьма сложной и трудоемкой процедурой даже тогда, когда в простейших случаях допускается принимать некоторые показатели по аналогии с действующими горнорудными объектами.

Расчет кондиций - это поиск таких путей и условий, при которых содержащееся в недрах сырье может быть отработано с максимально возможным экономическим эффектом.

## **Тема 9. Опробование**

### **❖ Выбор способа отбора проб полезных ископаемых**

Одним из важнейших вопросов, решаемых при разведке рудных месторождений, является определение качества полезного ископаемого. Комплекс работ, направленный на выявление качественного и количественного содержания полезного компонента в рудах, включает в себя:

- 1) отбор пробы;
- 2) обработку пробы;
- 3) испытание пробы.

Различаются следующие виды опробования:

- химическое,
- минералогическое,
- техническое
- технологическое.

### **Отбор проб в горных выработках**

Выбор способа опробования определяется формой и размерами рудного тела, степенью изменчивости качества полезного ископаемого, а также задачами опробования и типами разведочных горных выработок.

Способы отбора проб можно разделить на три группы:

- точечные
  - точечное
  - штуфное
  - вычерпывание
- линейные
  - бороздовый
  - шпуровой
  - опробование керна
- объемные.
  - задиrkовый
  - валовый

*Точечные способы* применяются при опробовании полезных ископаемых, характеризующихся равномерным и неравномерным распределением полезного компонента в рудном теле. Отбор пробы осуществляется следующим образом: на обнаженную поверхность рудного тела наносят сетку (квадратную) и в узлах (или внутри ячеек) отбивают кусочки руды весом 20-50 г, которые и составляют одну рядовую пробу. Размеры ячеек и массу отбираемых точечных проб определяют опытным путем. (Обычно размер ячеек 15x15 или 25x 25 см).

*Штуфной способ* состоит в отбойке отдельных образцов (штуфов) полезного ископаемого из целика или рудного отвала. Масса отдельного штуфа изменяется от 0,2 до 2 кг. Эти пробы используются главным образом для изучения минерального состава, структур и текстур руд, для определения физических свойств минерального сырья (объемный вес, пористость и т.д.). При поисках и поисково-разведочных работах возможен отбор штуфных проб на химический и минералогический анализ с целью получения предварительных данных с содержаниями полезного компонента в руде.

*Способ вычерпывания* (горстевой способ ) является универсальным для опробования рыхлых масс минерального сырья - отбитой руды в вагонетках, вагонах, песков из старых отвалов и т.д. Горстевой способ опробования заключается в отборе частных проб по сетке из отвала минерального сырья, из которых составляется основная проба. Для удобства отбора пользуются веревочной сеткой, набрасываемой на отвал. Масса частных проб колеблется от 100-200 г для равномерных руд, 400-500 г - для неравномерных и 1 кг - для весьма неравномерных.

Группу *линейных способов* опробования рекомендуется применять при опробовании рудных тел, у которых отчетливо выявляется сильная изменчивость руд в одном направлении. Чаще всего наибольшая изменчивость наблюдается по мощности рудного тела. К линейным относятся *бороздовый* и *шпуровой* способы, а также *опробование керна* скважин. Разновидностью бороздового способа является пунктирная борозда, при котором точечные пробы отбираются на равном расстоянии друг от друга по линии максимальной изменчивости.

*Бороздовый способ* широко применяется в практике геологоразведочных работ и заключается в отборе материала пробы из борозды (борозда – это углубление, обычно прямоугольного и реже треугольного сечения, определенной длины, вырубается в массиве полезного ископаемого с помощью молотка и зубила или с применением механических средств).

Борозда располагается по направлению максимальной изменчивости полезного ископаемого - чаще всего вкост простирания рудного тела, что делает пробу наиболее представительной. Обычно борозда располагается по горизонтали или вертикали по линии измеряемой мощности рудного тела, что упрощает дальнейшие расчеты при подсчете запасов. В зависимости от угла падения рудного тела борозда отбирается либо горизонтально (угол больше 45°), либо вертикально (угол менее 45°).

Таблица 5

## Расстояние между пробами

Группа месторождений	Характер распределения полезного компонента	Коэффициент вариации	Типы месторождений	Расстояние между пробами, см
I	Весьма равномерный	До 20	Пластовые и линзообразные месторождения Fe, Mn, угля, фосфоритов, солей	50-15
II	Равномерный	20-40	Месторождения, Fe, Mn бокситов. Крупные штокверковые месторождения. Небольшие пласты, линзы, крупные жилы	15-4
III	Неравномерный	40-100	Жильные месторождения цветных металлов, некоторые месторождения редких металлов, россыпные месторождения, штокверки редких и благородных металлов	4-2,5
IV	Весьма неравномерный; крайне неравномерный	100-150 и более	Месторождения редких и благородных металлов. Небольшие жилы, неправильные тела, крупные трубы, мелкие россыпи. Гнезда, шпильки, мелкие трубы месторождений благородных металлов, Hg, оптического сырья	2,5-1

Опробование рудных тел малой мощности в горных выработках производится позабойно через определенные интервалы (шаг опробования), которые определяются в зависимости от степени изменчивости (табл. 5) свойств полезного ископаемого. Это также влияет и на выбор сечения борозды (табл. 6). При опробовании рудных тел большой мощности опробуются стенки ортов, полностью вскрывающие рудное тело. В этом случае опробование проводится секционно, т.е. длина рядовой пробы (секции) ограничивается в зависимости от необходимого представительного веса пробы, чаще всего это 1 - 1,5 м. Пробы отбираются

последовательно по одной линии. Кроме того, секционное опробование применяется в случае, когда руда имеет зональное строение, при котором длина секции определяется мощностью выделяемых зон рудного тела. В практике длина бороздовых проб бывает от 0,2 до 1,5 м, реже до 3-5 м. Наиболее длинные борозды применяются при опробовании весьма мощных и однородных залежей.

**Таблица 6**

**Поперечные сечения борозд**

Группа месторождений	Характер распределения полезного компонента	Поперечное сечение борозды (см)		
		Мощность рудного тела (см)		
		Более 2,5	От 2,5 до 0,5	Менее 0,5
I, II	Весьма равномерное и равномерное	2 x 5	2 x 6	2 x 10
III	Неравномерное	2,5 x 8	2,5 x 9	2,5 x 10
IV	Весьма и крайне неравномерное	3 x 8	3 x 10	3 x 12

При опробовании рудных тел, не имеющих четких границ с вмещающими породами, оконтуривающие пробы отбирают по заведомо пустым породам.

*Шпуровой способ* состоит в том, что пробу отбирают из буровой пыли, получаемой в процессе бурения шпура, направленного вкрест простирания рудного тела.

Наиболее эффективно применение шпурового опробования при пересечении залежей полезного ископаемого ортами, квершлагами и другими подобными выработками. Чаще всего этот способ используется при опробовании штокверковых месторождений.

В группу объемных способов входят *задирковый* и *валовый*.

*Задирковый* способ представляет собой отбойку (задирку) ровного слоя полезного ископаемого по всей обнаженной части жилы. Основным

условием задиркового опробования является сохранение при отбойке одинаковой глубины отбора материала по всей площади. Глубина задиркового слоя составляет в среднем 3-5 см, что существенно увеличивает объем отбираемых проб. Этот способ целесообразно применять в случаях, когда все остальные способы не обеспечивают необходимую надежность опробования. Задирковый способ отбора простой и применяется при опробовании маломощных жильных тел, мощностью менее 20 см, когда на интервале 1м и по простиранию или падению жилы в пробу отбирается слой глубиной 3-5 см по всей мощности. Также этим способом опробуют жильные тела в местах их выклинивания.

*Валовые* пробы имеют значительно больший объем по сравнению с предыдущими способами и отбираются при проходке горных выработок на каком-либо участке рудного тела. В пробу идет весь материал, получаемый при проходке, или части его в зависимости от назначения опробования. Основная задача валового опробования - установление технологической схемы переработки руды при эксплуатации месторождения.

Валовые пробы могут быть лабораторными (изучение в лабораторных условиях), полупромышленными (изучение на специальных промышленных установках) и промышленными (изучение на аналогичных обогатительных фабриках). Масса лабораторной валовой пробы измеряется сотнями килограммов, полупромышленные - первые тонны, промышленные - десятки и даже сотни тонн. Валовое опробование - наиболее достоверное опробование, поэтому его применяют также в качестве контрольного.

### **Отбор проб при бурении разведочных скважин**

Опробование буровых скважин существенно отличается от отбора проб в горных выработках. Способ отбора проб зависит от типа бурения:

колонковое, ударно-канатное, бескерновое роторное, ударно-вращательное и шнековое.

При колонковом бурении основным объектом опробования является керн, при недостаточном выходе керна или при избирательном истирании керна также опробуется шлам. При опробовании рудных тел большой мощности (более 1,5 – 2 м) применяется секционное опробование. Длина секции определяется рациональным весом одной пробы, обычно это 1-1,5-2 м. При зональном строении длина секции ограничивается размером зон или сортов руд. Если рудный интервал имеет длину менее 1,5 м, то отбирается одна проба.

Перед опробованием керн документируется, а затем раскалывается или распиливается вдоль оси на две равнозначные половины. Одна половина керна отбирается в пробу, вторая сохраняется в качестве каменного фактического материала. Для деления керна необходимо применять керноколы или алмазные пилы.

При низком выходе керна (менее 75%) и выборочном истирании керна, дополнительно к нему отбирается в пробу шлам и мусть с соответствующих, интервалов. Для этой операции существуют различные конструкции шламоприемников. Результаты анализов шлама и мути нельзя использовать для определения средних содержаний полезных компонентов вследствие их низкой достоверности.

М.Н. Альбов предлагает опробовать керн путем выпиливания (фрезерования) узкой (4x4 мм) борозды. Также существуют специальные пробоотборники или грунтоносы для отбора пробы из стенок скважины, но из-за сложности операции отбора и невысокой достоверности они применяются редко.

При ударно-канатном и бескерновом роторном бурении опробуется буровой шлам, который поднимается на поверхность специальными пробоподъемниками - желонками. Обычно масса шлама большая, поэтому

его сокращают до необходимого объема пробы. Опробование производят по мере ухода скважины. Чаще всего этим способом пользуются при разведке штокверковых месторождений.

При ударно-вращательном бурении пробы отбираются из скважин с помощью желонки, ложек или шнеков (змеевиков). При пересечении рудного интервала шлам направляют в специальный шламоприемник, где обычно горстевым способом отбирается проба. При шнековом бурении материал поднимается вместе со шнеками и с рудного интервала способом вычерпывания отбирается проба.

#### **❖ Контроль отбора проб (контроль выбранного способа опробования)**

Основная сложность контроля выбранного способа опробования заключается в том, что в большинстве случаев пробы, отбираемые как в горных выработках, так и в скважинах неповторимы в силу неравномерности распределения полезного компонента в руде. Поэтому для контроля выбранного способа опробования применяют повторное опробование более представительным способом рядом с ранее отобранными пробами.

Например:

а) Штокверковое месторождение с поверхности разведывается вертикальными буровыми скважинами. Для контроля опробования скважин вдоль их оси проходится шурф, вскрывающий прожилково-вкрапленные руды. В стенке шурфа отбирается контрольная проба обычно борздовым способом, реже отбирается валовая проба. Результаты анализа проб из скважины и шурфа сравниваются между собой и делаются соответствующие выводы о достоверности опробования скважин.

б) Борздовое опробование горных выработок обычно контролируется путем отбора пробы тем же способом большего объема (контрольная

борозда). Если рядовые пробы отбираются бороздовым способом с сечением борозды 2 x 5 см, то контрольная борозда, отбираемая в забое одновременно с рядовой, должна иметь сечение 5 x 10 см. Проба большего объема считается более достоверной и принимается за эталон. При небольших мощностях (менее 0,5 м) рудного тела применяют в качестве контрольного опробования задирковый способ.

Как правило, для контроля необходимо выбирать участок месторождения, на котором отобрана группа контрольных проб, так как оценка единичных пар контролируемых проб часто дает неверные результаты.

В.М. Крейтер рекомендует следующее количество контрольных проб в зависимости от характера распределения полезного компонента:

- |   |             |
|---|-------------|
| 1. Для весьма равномерных и равномерных | 15 - 20 шт. |
| 2. Для неравномерных                    | 35 - 40 шт. |
| 3. Для весьма и крайне неравномерных    | 50 - 60 шт. |

### **Тема 10. Оконтуривание тел**

Проведение контуров рудных тел является одной из важнейших операций при подсчете запасов. Оконтуривание - это основа создания модели месторождения. Оно оказывает влияние и на количество запасов месторождения и на их качество в зависимости от того, какие участки минерализованных пород будут включены в промышленный контур, какие останутся за его пределами.

Грамотно выполненное оконтуривание позволяет получить максимальную выгоду от эксплуатации месторождения, а в ряде случаев способствует «созданию» рентабельного объекта даже при небольших запасах и невысоких содержаниях. И, наоборот - при неправильном оконтуривании даже крупные объекты могут превратиться в совокупность

мелких малопривлекательных участков. Рассмотрим кратко некоторые принципиальные положения и технические приемы оконтуривания.

### ❖ **Границы тел полезных ископаемых**

По характеру природных границ рудных тел можно выделить две группы месторождений: а) месторождения с четкими границами тел; б) месторождения с рудными телами, не имеющими таких границ.

*Месторождения с четкими границами тел*, в свою очередь, подразделяются на две группы: а) с равномерным и б) неравномерным распределением полезного компонента.

Первый случай наиболее прост для оконтуривания: резкое отличие рудного тела от вмещающих пород позволяет четко провести контур, ограничивающий промышленные руды.

При оконтуривании рудных тел второй группы, имеющих четкие границы и неравномерное распределение полезного компонента, могут возникнуть различные варианты.

Первый – если при всех колебаниях в содержании полезного компонента средние его величины всегда остаются выше минимального промышленного, то независимо от степени изменчивости вся залежь представляет промышленный интерес и оконтуривание упрощается.

Второй – если среднее фактическое содержание ниже кондиционного, то данная часть рудного тела признается непромышленной. Однако при внимательном изучении характера, закономерностей распределения безрудных участков и их разломов в ряде случаев можно предусмотреть селективную отработку таких участков: оставление их в целиках или организацию обогащения рудной массы сортировкой и т.д. При этих условиях (исключив безрудные участки) среднее содержание может превысить кондиционный уровень и участок будет отнесен к

промышленным рудам. Вообще, выяснение возможности получения более богатого по содержанию минерального сырья за счет исключения безрудных участков имеет большое, а в некоторых случаях решающее значение для промышленной оценки рудного тела или его части.

Наиболее яркими представителями объектов этой группы являются жильные месторождения вольфрама, олова, золота и др.

*Месторождения с рудными телами, не имеющими четких границ,* также делятся на две группы: а) с равномерным и б) с неравномерным распределением полезного компонента.

Первая группа характеризуется однородным, одинаковым составом рудных тел и вмещающих пород, различие между которыми заключается только в концентрации полезного компонента; четких границ рудных тел нет: наблюдается постепенный переход минерального сырья в породу. Граница тела для подсчета запасов проводится через ту точку на кривой распределения полезного компонента, в которой содержание становится равным кондиционному. Подобная ситуация имеет место на месторождениях вкрапления сульфидных руд, некоторых железорудных и бокситовых месторождениях.

В месторождениях второй группы рудные тела по составу также не выделяются среди вмещающих пород, отличаясь от них лишь уровнем содержания полезного компонента. При этом на фоне постепенного снижения концентрации (от рудного тела к вмещающим породам) наблюдаются локальные колебания, часто довольно резкие, которые вуалируют границу перехода.

Эта группа месторождений является наиболее сложной для оконтуривания. Здесь также приходится решать вопрос о возможности исключения безрудных участков. К этой группе относится практически все месторождения штокверкового типа, большинство золоторудных, многие месторождения редких металлов.

## **❖ Распределение естественных сортов и типов минерального сырья**

Нередко в пределах рудных тел выделяются различные сорта или типы руд. Их следует оконтуривать, поскольку руды разных типов и сортов обрабатываются отдельно, обрабатываются по индивидуальным технологическим схемам и запасы их подсчитываются также отдельно. Взаимоотношения между отдельными сортами и типами минерального сырья в общем сходны с рассмотренными выше взаимоотношениями между телами полезных ископаемых и вмещающими породами. Поэтому принципы и приемы оконтуривания рудных тел полностью применимы и для оконтуривания отдельных типов и сортов руд, выделяемых и внутри тел.

## **❖ Оконтуривание участков, различных по гидрологическим и горнотехническим условиям**

Горнотехнические и гидрологические условия оказывают существенное влияние на способы отработки месторождения, затраты на отработку, себестоимость руды и конечного продукта. Поэтому участки месторождения, находящиеся в разных условиях, оконтуриваются и запасы по ним подсчитываются отдельно. Из числа наиболее важных и часто встречающихся можно указать следующие примеры:

1. На месторождениях, отработку которых планируется вести открытым способом, отдельно оконтуривают и подсчитывают запасы участков с различной мощностью вскрыши. Часто специально составленные для этой цели карты с изолиниями мощности вскрыши (или изолиниями коэффициента вскрыши) служат для установления очередности отработки участков и решения других вопросов.

2. Разработка месторождений (особенно открытая), расположенных в районах развития многолетнемерзлых пород, сопряжена с определенными сложностями. Поэтому при подсчете запасов таких месторождений необходимо изучать распределение мерзлоты и оконтуривать участки а) сплошного развития мерзлых пород, б) островной мерзлоты, в) талики.

3. Одной из важнейших задач является изучение гидрогеологических условий, определение степени обводненности месторождения, его различных участков, расчет величины ожидаемых водопритоков при эксплуатации. Нередки случаи, когда ценные богатые руды не могут быть отработаны только из-за неблагоприятных гидрогеологических условий их залегания. Поэтому требуется выделять и оконтуривать запасы, находящиеся в резко различных условиях.

4. Запасы в целиках – шахтных, под железнодорожными путями, производственными зданиями, поселками и т.д. должны быть оконтурены на планах и разрезах и подсчитаны отдельно. Если по качеству эти запасы удовлетворяют кондициям, они должны быть отнесены в группу балансовых.

#### ❖ **Виды контуров тел полезных ископаемых**

При оконтуривании тел для подсчета запасов различают следующие виды контуров.

1. Контур, характеризующий полное окончание (выклинивание тела), называется нулевым контуром. Он строится путем соединения крайних точек, в которых мощность тела или содержание полезного компонента равно нулю.

2. Промышленный контур отделяет промышленные участки тела от непромышленных. Он проводится через точки с наименьшими

значениями показателей, т.е. через точки с минимальной мощностью, минимальным промышленным или бортовым содержанием полезного компонента. Промышленный контур в некоторых участках может совпадать с нулевым.

3. Сортовой контур разделяет различные сорта и типы руд внутри общего промышленного контура.

По способу построения контуров они делятся на два вида.

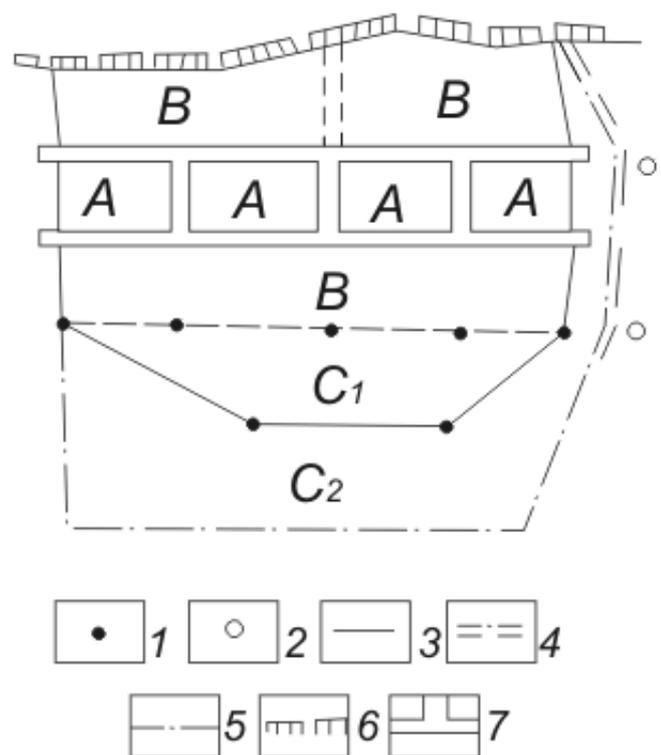
Первый – внутренний контур интерполяции. Он проводится путем соединения опорных точек, расположенных в крайних разведочных или эксплуатационных выработках.

Второй – внешний контур - проводится за пределами крайних выработок или проб, расположенных по периферии разведанного тела. При этом выделяют две разновидности: а) внешний контур ограниченной экстраполяции проводится между выработками, вскрывшими руду, и безрудными; б) внешний контур неограниченной экстраполяции – если за рудными выработками безрудных выработок нет (рис. 8).

Оконтуривание тел для подсчета запасов производится двумя последовательными операциями: а) установлением опорных (граничных) точек по естественным обнажениям, горным выработкам, скважинам и другим данным; б) проведением через опорные точки линий контуров.

Оконтуривание тел производится на планах, проекциях на разрезах по совокупности разведочных данных.

На участках, где границы рудных тел вскрываются горными выработками или скважинами, опорные точки контуров устанавливаются непосредственно в них с использованием тех приемов, которые упомянуты выше, при характеристике границ рудных тел.



1-скважины, пересекающие рудное тело; 2-скважины, показавшие отсутствие рудного тела; 3-внутренний контур интерполяции; 4-внешний контур ограниченной интерполяции; 5-внешний контур неограниченной интерполяции; 6-наносы, вскрытые канавами; 7-подземные горные выработки

**Рис. 8 Оконтуривание крутопадающего рудного тела для подсчета запасов (продольная вертикальная проекция)**

На тех участках, где границы рудного тела располагаются за пределами выработок, опорные точки определяются либо методами интерполяции между выработками, одна из которых вскрывает кондиционные руды, другая – некондиционные, либо методами ограниченной или неограниченной экстраполяции. Во всех подобных случаях производятся расчеты, в которых учитываются геологические особенности рудных тел: характер распределения полезного компонента, структурные особенности месторождения и т.д.

Особенно сложной задачей является проведение контуров за пределами разведочных выработок: на неизученных флангах или глубоких

горизонтах. В этих случаях используют всю совокупность имеющихся сведений по месторождению: особенности морфологии тела, закономерности изменчивости, геофизические данные, статистические характеристики и т.д.

Иногда допускаются геометрические или формальные приемы оконтуривания, когда граница рудного тела экстраполируется на расстояния, кратные разведочной ячейке и т.д.

## **Тема 11. Подсчет запасов**

### **❖ Способы подсчета запасов**

Рассматриваемые ниже способы подсчета запасов представляют собой определенные системы геометрических построений и простейших вычислений, с помощью которых природные тела более или менее сложных форм заменяются простыми равновеликими телами, объемы которых легко вычисляются по элементарным математическим формулам.

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

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

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

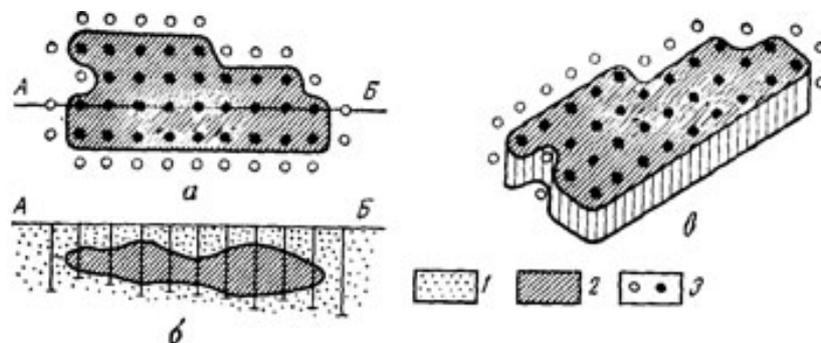
В последние годы в практике разведок месторождений полезных ископаемых преобладают подсчеты запасов среднего арифметического, способом блоков и способом разрезов.

#### ❖ **Способ среднего арифметического**

Этот способ представлен простейшим подсчетом запасов и охватывает весь объект разведки. Все разведочные пересечения, заключенные внутри общего контура объекта, служат исходными данными для вычисления средних значений подсчетных параметров. Оконтуривание подсчетной площади может быть произведено любым из известных способов. Таким образом, при подсчете запасов полезного ископаемого способом среднего арифметического сложные очертания тела сглаживаются путем превращения этого тела неправильной формы в равновеликую по объему плиту (рис. 9).

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

выполняется способом среднего взвешенного: содержания в секционных пробах по разведочному пересечению «взвешиваются» на длины проб.



*а- план рудного тела; б- разрез по линии; в- аксонометрическая проекция преобразованного тела.  
1- вмещающие горные породы; 2- рудное тело; 3- разведочные выработки: черные- пересекающие рудное тело, светлые- законтурные*

**Рис. 9** Схема преобразования формы рудного тела при подсчете запасов способом среднего арифметического

Расчетные формулы имеют простейший вид:

$$\text{средняя мощность тела } \bar{m} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{n};$$

$$\text{средняя объемная масса } \bar{d} = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n};$$

$$\text{среднее содержание компонента } \bar{c} = \frac{c_1 m_1 + c_2 m_2 + \dots + c_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n};$$

$$\text{объем тела } V = S \bar{m};$$

$$\text{запас полезного ископаемого } Q = V \bar{d};$$

$$\text{запас полезного компонента } Z = Q \bar{c},$$

где  $S$  - площадь тела;  $n$  - число измерений (определений).

Основным преимуществом способа среднего арифметического является простота подсчетов. Этот способ дает возможность быстро определить величину запасов для ориентировочного представления о

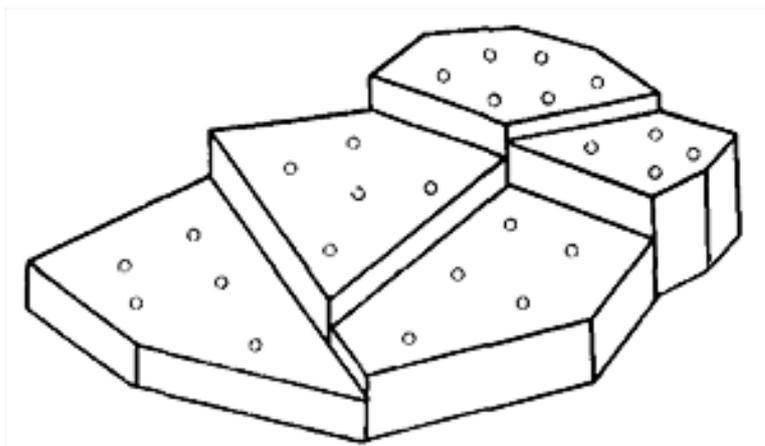
промышленной ценности месторождения. Он является единственным рациональным способом подсчета запасов при немногочисленных разведочных данных. Поэтому способ среднего арифметического типичен для подсчетов запасов по результатам поисково-оценочных работ и предварительной разведки.

#### ❖ **Способ геологических блоков**

При наличии разнородных частей месторождения в его пределах выделяются участки, которые представляют собой отдельные подсчетные блоки. Выделение блоков производится по разным типам полезного ископаемого, выявляемым в процессе разведки; по морфологическим особенностям разных частей месторождения; по различиям в условиях залегания, т. е. по различным геологическим признакам. Отсюда и название выделяемых блоков: «геологические блоки». При выделении блоков по геологическим признакам приходится также учитывать степень разведанности различных их частей, и тогда в пределах некоторых геологических блоков целесообразно выделять самостоятельные подсчетные блоки с целью дифференцированного учета запасов полезного ископаемого разных категорий (А, В, С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub>).

Сущность преобразования форм для подсчета запасов способом геологических блоков состоит в том, что отдельные части объекта разведки превращаются в пластины разной толщины и все тело полезного ископаемого представляет собой ряд сомкнутых такого рода пластин (рис.10).

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



**Рис. 10** Схема преобразования природной формы неоднородного тела  
полезного ископаемого при подсчете запасов  
способом геологических блоков

Способ геологических блоков можно применять, когда имеются уже многочисленные данные по объекту разведки, значительно большее число разведочных пересечений, чем это бывает при подсчете запасов в целом по объекту способом среднего арифметического. Однако в пределах каждого подсчетного блока разведочных наблюдений может быть и немного. Следует при этом помнить, что, чем больше в каждом подсчетном блоке данных о его мощности и содержании полезного компонента, тем точнее будут определены запасы каждого блока и месторождения в целом. Следовательно, кроме геологических соображений при выделении подсчетных блоков следует учитывать и расположение разведочных пересечений, а очерчивать подсчетные геологические блоки целесообразно с таким расчетом, чтобы каждый из них опирался на возможно большее число разведочных пересечений.

В зависимости от числа разведочных пересечений в каждом блоке и от густоты разведочной сети запасы полезного ископаемого могут быть квалифицированы по разным категориям (А, В, С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub>).

Способ геологических блоков обладает теми же преимуществами, что и способ среднего арифметического: простотой построений и расчетов.

Кроме того, он совершеннее последнего тем, что дает возможность выделять пространственно и подсчитывать отдельно различные типы и сорта полезного ископаемого, заключенные в разведанном объекте. Поэтому способ геологических блоков эффективно может применяться по результатам как предварительной разведки, так и детальных разведок месторождений полезных ископаемых.

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

#### ❖ **Способ эксплуатационных блоков**

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

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

$$V = S \frac{\bar{m}_1 L_1 + \bar{m}_2 L_2 + \bar{m}_3 L_3 + \bar{m}_4 L_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4},$$

где  $S$  - площадь блока;  $\bar{m}_i$  - средняя мощность тела по горной выработке;  $L_i$  - длины выработок.

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

$$Q = V \frac{\bar{d}_1 \bar{m}_1 L_1 + \bar{d}_2 \bar{m}_2 L_2 + \bar{d}_3 \bar{m}_3 L_3 + \bar{d}_4 \bar{m}_4 L_4}{\bar{m}_1 L_1 + \bar{m}_2 L_2 + \bar{m}_3 L_3 + \bar{m}_4 L_4},$$

где  $\bar{d}_i$  - средняя объемная масса полезного ископаемого по горной выработке.

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

$$Z = Q \frac{\bar{c}_1 \bar{d}_1 \bar{m}_1 L_1 + \bar{c}_2 \bar{d}_2 \bar{m}_2 L_2 + \bar{c}_3 \bar{d}_3 \bar{m}_3 L_3 + \bar{c}_4 \bar{d}_4 \bar{m}_4 L_4}{\bar{d}_1 \bar{m}_1 L_1 + \bar{d}_2 \bar{m}_2 L_2 + \bar{d}_3 \bar{m}_3 L_3 + \bar{d}_4 \bar{m}_4 L_4},$$

где  $\bar{c}_i$  - среднее содержание полезного компонента по горной выработке.

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

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

## ❖ **Способ разрезов**

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

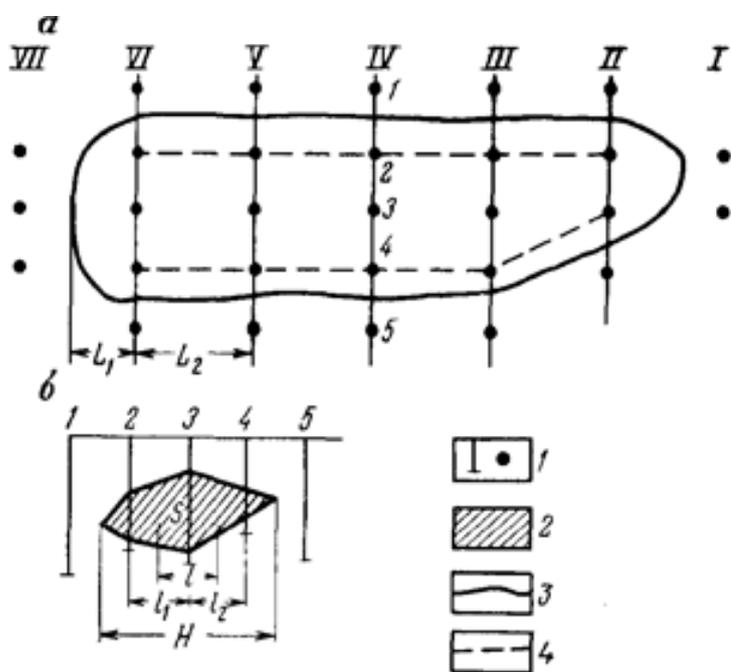
Сущность способа состоит в том, что тело полезного ископаемого разбивается на блоки, ограниченные геологическими разрезами, построенными по соответствующим разведочным пересечениям. В зависимости от ориентировки разведочных пересечений, образующих разрезы первого порядка, различаются две разновидности способа подсчета:

- 1) способ вертикальных разрезов;
- 2) способ горизонтальных разрезов.

Первый типичен для мощных залежей вытянутых или изометричных форм, разведанных вертикальными или наклонными буровыми скважинами при небольшом участии горных разведочных выработок: шурфов, дудок и т. п. Второй способ обычно применяется при разведке месторождения горными и горно-буровыми системами с преобладающими горизонтальными разведочными пересечениями из подземных горных выработок; он характерен для крутопадающих более или менее мощных тел полезных ископаемых, а также для штокообразных месторождений. В связи с тем что месторождения отрабатываются горизонт за горизонтом по определенным этажам или уступам, способ подсчета запасов

горизонтальными разрезами наиболее удобен для проектирования рудников.

При расчленении тела подсчетными разрезами на блоки каждый из них ограничивается двумя практически параллельными разрезами, за исключением двух крайних блоков: правого и левого при вертикальных разрезах или верхнего и нижнего при горизонтальных разрезах. Эти последние блоки опираются лишь одной стороной на разведочный разрез, с остальных сторон ограничиваются экстраполяционными поверхностями по геологическим или иным соображениям (рис. 11).



*а-план; б- разрез по линии IV;  
1- разведочные выработки; 2- площадь сечения  
рудного тела.  
Контуры залежи: 3- внешний; 4- внутренний*

**Рис. 11** Схема расположения подсчетных блоков при подсчете запасов руд способом разрезом

При разведке россыпных месторождений ввиду неравномерности распределения полезных компонентов по простиранию россыпи применяется способ подсчета запасов по блокам, опирающимся на один разрез, с экстраполяцией его данных в обе стороны от линии разреза.

Такой способ ограничивает влияние явно аномальных (высоких или низких) значений содержания пределами данного блока. Однако степень достоверности определений запаса песков и полезного компонента в каждом блоке оказывается более низкой в сравнении с их определениями при первом способе подсчета, так как во втором случае значительно сокращается число разведочных пересечений по каждому блоку.

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

Чтобы подсчитать линейные запасы в разрезе, определяются среднее содержание полезного компонента  $\bar{c}$  и средняя объемная масса полезного ископаемого  $\bar{d}$  по разведочным пересечениям в этом разрезе путем вычислений способом среднего взвешенного:

$$\bar{c} = \frac{c_1 m_1 + c_1 m_2 + \dots + c_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} ;$$

$$\bar{d} = \frac{d_1 m_1 + d_1 m_2 + \dots + d_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} .$$

Линейные запасы полезного ископаемого и полезного компонента, в нем заключенного, находятся из выражений:  $q = S\bar{d}$ ;  $Z = q\bar{c}$ , где  $S$  - площадь сечения тела полезного ископаемого в разрезе.

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

$$V = H \frac{S_1 + S_2}{2} ; \quad Q = H \frac{q_1 + q_2}{2} ; \quad Z = H \frac{Z_1 + Z_2}{2} .$$

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

$$H = \frac{H' + H''}{2},$$

где  $H'$  и  $H''$  - перпендикуляры, опущенные из середины каждого разреза на противоположный разрез (рис. 12).



**Рис. 12** Схема определения среднего расстояния между непараллельными разрезами

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

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

$$\bar{c}_{\text{бл}} = Z/Q; \quad \bar{d}_{\text{бл}} = Q/V.$$

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

### ❖ **Блокировка запасов**

На многих месторождениях внутри единого контура часто наблюдаются зоны, сложенные различными сортами руд или имеющие различные текстурные особенности или различие в условиях залегания. Кроме того, в процессе разведки появляются участки, различающиеся по детальности проведенных работ, т.е. имеющие различную достоверность запасов. Таким образом, появляется возможность внутри одного контура выделить отдельные участки, которые и будут являться подсчетными блоками.

Выделение подсчетных блоков, сложенных различными типами или сортами руд, целесообразно только в том случае, когда предполагается селективная добыча и переработка. Поэтому контуры этих блоков отделяют как природные, так и технологические разновидности руд: первичные руды, окисленные руды, зона вторичного обогащения и т.д. Часто как отдельные блоки оконтуриваются обогащенные и обедненные участки руд – рудные столбы.

Среди однородных руд также выделяются отдельные подсчетные блоки чаще всего по степени разведанности. Размеры блоков и их конфигурация в каждом конкретном случае зависят от применяемой системы разведки и технических средств. В целом запасы руды в блоке не должны превышать установленных кондициями пределов для данной категории запасов.

### ❖ **Определение параметров для подсчета запасов полезных ископаемых**

Подсчет запасов полезных ископаемых проводят в весовых либо объемных единицах. Подсчитывают запасы руды и полезного компонента без учета потерь при добыче и переработке полезного ископаемого, по валовому содержанию полезного компонента в руде.

Подсчет запасов проводится по формулам:

$$V = S \times m$$

$$Q = V \times d$$

$$Z = Q \times c,$$

где

Q – запасы руды, т;

Z – запасы полезного компонента, т;

V – объем рудного тела или блока, м<sup>3</sup>;

S – площадь в контуре рудного тела или подсчетного блока, м<sup>2</sup>;

d – средняя объемная масса полезного ископаемого, г/м<sup>3</sup>;

c – среднее содержание полезного компонента (% , г/т, г/м<sup>3</sup>, карат/м<sup>3</sup> и т.д.);

m – средняя мощность рудного тела, м.

Таким образом, непосредственно перед подсчетом запасов руды и полезного компонента необходимо определить ряд величин: площадь рудного тела, средняя мощность рудного тела и т.д., которые носят название «параметры для подсчета запасов».

В некоторых частных случаях при подсчете запасов необходимо учитывать коэффициенты рудоносности, влажности, каменистости, льдистости, намыва (для россыпных месторождений), зольности (для горючих ископаемых).

### **Определение площади рудного тела**

Площадь определяется по проекции рудного тела на вертикальную (крутопадающие тела) или на горизонтальную (пологозалегающие) плоскость. Измеряется площадь с помощью палетки, планиметра (сложные по форме очертания блоков) или простыми геометрическими формулами (блоки имеют форму геометрических фигур – прямоугольник,

треугольник, трапеция или их можно разбить на отдельные простые фигуры).

Площадь будет истинной, если плоскость проекции совпадает с плоскостью рудного тела. В случае же наклонного положения рудного тела по отношению к плоскости проекции его истинная площадь будет вычисляться по формулам:

$$S_{и} = \frac{S_{в}}{\sin \alpha} - \text{при проекции на вертикальную плоскость};$$

$$S_{и} = \frac{S_{г}}{\cos \alpha} - \text{при проекции на горизонтальную плоскость},$$

где

$S_{и}$  – истинная площадь рудного тела;

$S_{в}$ ,  $S_{г}$  – площадь проекции рудного тела на вертикальную и горизонтальную плоскости соответственно;

$\alpha$  – угол падения рудного тела.

### **Определение средней мощности рудного тела**

Чаще всего средняя мощность определяется способом среднего арифметического:

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n},$$

где

$m_i$  - частные значения истинной мощности;

$n$  - число частных определений.

В случае подсчета запасов способом эксплуатационных блоков возможно определение средней мощности блока способом средневзвешенного на длину сторон блока по формуле:

$$\bar{m} = \frac{m_1 \cdot l_1 + m_2 \cdot l_2 + m_3 \cdot l_3 + m_4 \cdot l_4}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4},$$

где

$m_1, m_2, m_3, m_4$  – средняя мощность рудного тела по выработкам;

$l_1, l_2, l_3, l_4$  – длина горных выработок, ограничивающих блок.

### **Определение средних содержаний**

Среднее содержание обычно определяется среднеарифметическим и средневзвешенным способами.

При небольшом количестве данных опробования или отсутствия корреляционных связей между содержаниями и мощностью применяется способ среднеарифметический:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n},$$

где

$\bar{c}$  – среднее содержание;

$c_i$  – частные значения содержания в пробе;

$n$  – количество проб.

При установлении корреляционной связи между содержанием и мощностью, а также с объемной массой, площадью, объемом и т.п. применяется способ средневзвешенный.

Например:

$$\bar{c} = \frac{\sum_1^n c_i \cdot x_i}{\sum_1^n x_i},$$

где

$\bar{c}$  - среднее содержание;

$c_i$  - частное значение содержания в пробе;

$x_i$  - частное значение коррелируемого параметра в месте отбора пробы;

$n$  - количество проб и замеров мощности.

Среднее содержание полезного компонента по эксплуатационному блоку определяется как средневзвешенное по формуле:

$$\bar{c} = \frac{c_1 \cdot l_1 + c_2 \cdot l_2 + c_3 \cdot l_3 + c_4 \cdot l_4}{l_1 + l_2 + l_3 + l_4},$$

где

$c$  - среднее содержание полезного компонента по выработкам, ограничивающим блок;

$l$  - длина выработок.

Среднее содержание полезного компонента по отдельным разведочным пересечениям определяется чаще всего как средневзвешенное по формуле:

$$\bar{c} = \frac{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + \dots + c_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n},$$

где

$c$  - частные значения содержаний полезного компонента;

$m$  - длина секций проб по мощности, соответствующая частным содержаниям полезного компонента в разведочном пересечении (орт, скважина).

### **Определение средней объемной массы**

Объемная масса определяется по результатам специального опробования – штуфного, валового.

Средняя объемная масса определяется среднеарифметическим способом по формуле:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n},$$

где

$d_i$  – частные определения объемной массы;

$n$  – количество частных определений.

Для каждого сорта руд производится 10-20 частных определений.

### **❖ Определение поправочных коэффициентов**

Часто при подсчете запасов, вследствие сложного геологического строения, возникает необходимость введения поправочных коэффициентов.

*Коэффициент рудоносности* ( $K_p$ ) показывает соотношение рудных и безрудных участков в пределах оконтуренного рудного тела.

Коэффициенты рудоносности могут быть объемные, площадные и линейные.

Объемный коэффициент рудоносности ( $K_o$ ) может быть рассчитан только после полной обработки месторождения или блока по формуле:

$$K_o = \frac{V_p}{V_o},$$

где

$K_o$  - объемный коэффициент рудоносности;

$V_p$  - объем руды;

$V_o$  - общий объем.

В процессе разведки вычисляют значение коэффициента рудоносности (линейного или площадного):

$$K_s = \frac{\sum S_p}{S_o},$$

где,

$K_s$  - площадной коэффициент рудоносности;

$\sum S_p$  - сумма площадей рудных участков;

$S_o$  - общая площадь подсчета;

или:

$$K_L = \frac{\sum L_p}{L_o},$$

где

$K_L$  - площадной коэффициент рудоносности;

$\sum L_p$  - сумма площадей рудных участков;

$L_o$  - общая площадь подсчета.

Коэффициент рудоносности используется при подсчете объема рудного тела или блока. На его величину значительное влияние оказывает бортовое содержание, при снижении кондиций в отработку вовлекаются

более бедные руды, что приводит к увеличению абсолютных значений коэффициента рудоносности.

Коэффициент рудоносности целесообразно применять в случае сложного тектонического строения, когда отдельные части рудного тела значительно смещены и есть опасность завышения запасов. Кроме того, его необходимо применять для обоснования экономической эффективности селективной отработки.

*Коэффициент влажности* используется при подсчете запасов полезного компонента в случае, когда руда в естественном залегании значительно (более 5%) увлажнена. Его необходимо использовать, так как определение содержания металла проводится в сухом материале пробы. Обычно производят пересчет объемной массы влажной руды на сухую по формуле:

$$d_{\text{сух}} = d_{\text{вл}} \cdot \frac{(100 - B)}{100},$$

где

$d_{\text{вл}}$  - объемная масса влажной руды;

$d_{\text{сух}}$  - объемная масса сухой руды;

$B$  – влажность, при которой определена объемная масса влажной руды.

*Коэффициент погрешности химических анализов* рассчитывается и используется в случае выявления систематической погрешности химического анализа при определении среднего содержания полезного компонента.

## РАЗДЕЛ 4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МПИ

### Тема 12. Задачи и виды математического моделирования

При разведке месторождений накапливается большое количество информации: геологическая документация разведочных выработок, данные опробования, результаты геофизических, геохимических исследований и др. В дальнейшем информация перерабатывается с целью построения геологических карт, разрезов, погоризонтных планов, проекций рудных тел, подсчета запасов и решения других вопросов. До появления ЭВМ информацию обрабатывали вручную, что приводило к значительным затратам труда и времени. После появления ЭВМ, особенно персональных компьютеров, мощных серверов и сетей, накопление и обработка геологической информации значительно ускорилась, но и сейчас еще ряд технологических операций в разведке месторождений осуществляется вручную.

Одно из первых назначений компьютера при разведке месторождений состоит в *накоплении, систематизации, обработке и передаче* геологической информации. Но главное направление при разведке месторождений заключается в *математическом моделировании месторождений*, что позволяет решать вопросы, касающиеся подсчета запасов, определения качества минерального сырья, геолого-экономической оценки месторождений. На базе математического моделирования месторождений можно проектировать горнодобывающие предприятия, планировать и управлять добычей минерального сырья и решать многие другие прикладные задачи.

Существует, по крайней мере, три направления моделирования месторождений: геоинформационное, аналитическое и блочное. Все они имеют между собой много общего.

*Геоинформационное моделирование* предназначено в основном для моделирования и построения карт любого назначения, в том числе геологических карт земной поверхности и, как частный случай, построения геологических карт месторождений. Существуют специальные пакеты программ для построения карт, такие как ArcInfo, Arcview и др. Пакеты позволяют редактировать и преобразовывать полученную информацию, получать «слои» с различной информацией и совмещать их на одном чертеже.

*Аналитическое моделирование* предназначено для построения геологических карт и разрезов по данным геологической документации разведочных выработок. Для границ всех горных пород и руд путем ряда преобразований рассчитывают координаты в разведочных выработках. Различные способы интерполяции, рассмотренные в предыдущей главе, позволяют строить геологические границы на планах и в разрезах, т.е. делать графическую модель месторождения (или отдельного рудного тела).

*Блочное моделирование* основано на разделении пространства, в котором находятся рудные тела, на блоки (ячейки) квадратной (на маломощных рудных телах) или кубической (на мощных рудных телах) формы одинакового размера. Разбиение на блоки осуществляется созданием сети параллельных линий и плоскостей. По данным разведочных выработок путем различных способов интерполяции в каждом блоке рассчитывают параметры оруденения (качество руды, ее свойства, достоверность сведений и другие данные). Задав шкалу значений параметров, можно раскрасить блоки различным цветом и получить цветную модель месторождения в виде множества кубиков. Модель можно поворачивать в пространстве, изучая форму рудного тела и качество руд в трех измерениях. Для работы с подобными моделями месторождений создана серия пакетов прикладных программ: Surpac, Micromine и др. С

помощью пакетов можно рассчитывать запасы минерального сырья, осуществлять геолого-экономическую оценку месторождений и проектировать рудники.

Во всех направлениях моделирования предусмотрены сбор данных, их систематизация и обработка (моделирование геологических объектов), хранение данных и представление итоговой информации в графическом или табличном виде.

Исходная информация чаще всего накапливается в бумажном виде. Ее необходимо перенести на машинные носители вручную или с помощью различных технических средств. Часть информации можно получить сразу на машинных носителях, например, путем сканирования изображений или текста, с цифровых фотоаппаратов, с аэро - и космических фотоаппаратов, в результате геофизических измерений физических полей и др. Как при ручном наборе информации, так и с применением технических средств исходные данные обычно преобразуются в цифровую или символьную форму и хранятся в виде файлов баз данных в Excel, dBASE, Access, Word, MS DOS и др. База состоит из отдельных банков однородных данных.

Каждая модель или пакет преобразует банки данных в удобную для обработки форму с помощью специальных программ – конвертеров.

### **Тема 13. Банки исходных данных при разведке МПИ**

#### **❖ Банк координат устьев разведочных выработок**

Разведка месторождений ведется по дискретной сети наблюдений с помощью разведочных выработок (скважин, горных выработок) при вспомогательной роли геофизических работ. Все разведочные выработки подвергаются геологической документации и опробованию. В рудных пересечениях и их ближайших окрестностях, как правило, берут пробы для

химического, минералогического или технического анализа, чтобы установить границы рудных тел и определить качество полезного ископаемого. Вмещающие породы нередко подвергают геохимическому опробованию, чтобы изучить геохимические ореолы вокруг рудных тел и попутно выявить признаки не вскрытых разведочными выработками новых рудных тел. В разведочных выработках проводятся и другие исследования инженерно-геологического и гидрогеологического характера.

В процессе разведки создают банк координат устьев (начала) разведочных выработок, банк искривлений скважин или маркшейдерских замеров, чтобы определить положение разведочных выработок в недрах земной коры, банк геологической документации разведочных выработок и банк опробования (может быть несколько банков опробования - отдельно рядовые, групповые, минералогические, технические и технологические пробы). Все эти банки данных вначале создают на бумажных носителях, а потом переносят на машинные носители - в компьютер.

Поскольку в большинстве случаев разведка месторождений осуществляется скважинами, приведем образцы банков данных именно по скважинам. Банки данных по горным выработкам принципиально от них не отличаются.

Банк координат устьев разведочных скважин (и поисковых скважин), который часто называется реестром скважин, рекомендуется оформлять в виде табл.7.

*Таблица 7*

<b>Реестр разведочных скважин</b>					
№ п/п	Номер скважины	Координаты устья, м			Глубина скважины, м
		X	Y	Z	
1	22	1911,2	863,0	290,6	613,0
2	23	1577,6	794,2	279,4	383,7
3	25	1752,3	713,4	282,8	421,4

Полезно добавить в этот реестр год окончания бурения скважин, что позволяет в дальнейшем получать интересные данные по динамике разведки месторождения и другие полезные сведения.

#### ❖ **Банк искривлений скважин**

Банк искривлений скважин содержит данные о глубинах замеров искривлений, зенитных и азимутальных углах в пунктах замеров (табл.8). Этот банк данных позволяет определить положение ствола в пространстве. Замеры искривлений в скважинах проводят через 20-50 м. По опытным данным, среднее отклонение скважин от вертикали на глубине 1000 м составляет около 100 м, а на глубине 1500 м - около 200 м, хотя скважина первоначально задана вертикальной. Пока зенитный угол небольшой (до 1°) гироскопическим методом азимутальный угол измеряется весьма ненадежно. Чтобы точнее определять зенитный угол, часто задают начальный зенитный угол скважины порядка 3-5°.

**Таблица 8**

**Замеры искривлений скважин**

№ п/п	Номер скважины	Глубина замера, м	Азимутальный угол, град.	Зенитный угол, град.
1	25	0	216	0,00
2	25	50	79	0,50
3	25	100	86	1,25
4	25	150	95	1,50
5	25	200	120	2,50
6	25	250	128	3,50

#### ❖ **Банк геологической документации**

Банк геологической документации включает номера скважин, интервалы документации и индексацию типов горных пород и руд (табл.9). Индексация позволяет сокращать и формализовать геологическую документацию и облегчает обработку данных.

Таблица 9

## Банк данных геологической документации

№ п/п	Номер скважин	Интервал, м			Индекс	Примечание
		От	До	Длина		
1	25	0,0	5,6	5,6	пг	Песчано-глинистые отложения
2	25	5,6	14,2	8,6	изв	Известняк серый массивный
3	25	14,2	19,5	5,3	ск	Скарн пироксен-гранатовый
4	25	19,5	32,9	13,4	руда	Магнетитовая руда
5	25	32,9	37,6	4,7	ск	Скарн пироксен-гранатовый
6	25	37,6	37,9	0,3	рн	Разрывное нарушение
7	25	37,6	45,0	11,4	изв	Известняк белый массивный
8	25	45,0	50,1	5,1	гр	Гранит серый

Графа «Примечание» для расчетов не нужна, она поясняет индекс и в некоторых случаях может помочь идентифицировать горные породы в геологическом разрезе, когда увязка горных пород и руд неоднозначная.

❖ **Банк опробования**

Последний банк исходных данных содержит результаты опробования (табл.10) или результаты измерения качества полезного ископаемого.

Таблица 10

## Банк опробования рядовых проб

№ п/п	Номер скважины	Интервал, м			Индекс	Состав руды, %		
		От	До	Длина		Cu	Zn	S
1	26	19,5	22,0	2,5	Ц	0,36	3,48	36,55
2	26	22,0	23,8	1,8	МЦ	1,34	2,16	38,43
3	26	23,8	26,0	2,2	МЦ	1,45	3,11	35,17
4	26	26,0	29,3	3,3	М	2,14	0,88	28,66
5	26	29,3	32,9	4,5	М	2,09	0,65	19,78
6	27	36,1	39,3	3,2	Ц	0,45	5,16	35,87
7	27	39,3	42,2	2,9	МЦ	1,54	4,14	40,21
8	27	42,4	44,6	2,4	МЦ	2,08	3,33	37,32

Таблицы 9 и 10 иногда дополняют графой «Выход керна», используемой для оценки достоверности геологических границ. Банков опробования может быть несколько (рядовые, групповые, минералогические и другие пробы). В банки опробования часто добавляют еще одну графу - плотность руды, необходимую для расчета средних

содержаний в пределах интервалов однотипных руд. Добавление этой величины имеет смысл в тех случаях, когда плотность зависит от состава руды.

При составлении банков геологической документации и опробования большую роль играет однозначная формализованная запись индексов, что важно при увязке горных пород и руд в геологических разрезах и на карте. Увязка часто бывает неоднозначной и, как правило, делается в интерактивном режиме.

#### **Тема 14. Вторичные (расчетные) банки данных**

##### **❖ Банк координат пунктов измерения искривлений**

Имея банк координат устьев скважин (см. табл.7) и замеры искривлений в скважинах (см. табл.8), можно рассчитать координаты всех пунктов, где произведены измерения искривлений. Расчет ведется от устья скважины. Существует несколько вариантов расчета. Берется первый отрезок, длина его (расстояние между соседними замерами  $d$ ) известна, имеются также замеры зенитных ( $\gamma$ ) и азимутальных ( $\alpha$ ) углов на концах отрезка. Вначале находят вертикальную  $dz$  и горизонтальную  $dxy$  проекции отрезка:

$$dz = d \cos[(\gamma_1 + \gamma_2)/2]; \quad dxy = d \sin[(\gamma_1 + \gamma_2)/2], \quad (14.1)$$

где  $(\gamma_1 + \gamma_2)/2$  - полусумма зенитных углов на концах отрезка.

Далее по полусумме азимутов на концах отрезка вычисляют горизонтальные проекции:

$$dx = dxy \sin[(\alpha_1 + \alpha_2)/2]; \quad dy = dxy \cos[(\alpha_1 + \alpha_2)/2]. \quad (14.2)$$

Проекции отрезков суммируют с координатами устья скважин, получают координаты конца отрезка, т.е. координаты пункта искривления.

Подобные операции повторяют для каждого отрезка, в результате определяют координаты всех пунктов измерений искривлений последовательно, начиная с устья скважин:

$$X_{i+1} = X_i + dx; \quad Y_{i+1} = Y_i + dy; \quad Z_{i+1} = Z_i - dz. \quad (14.3)$$

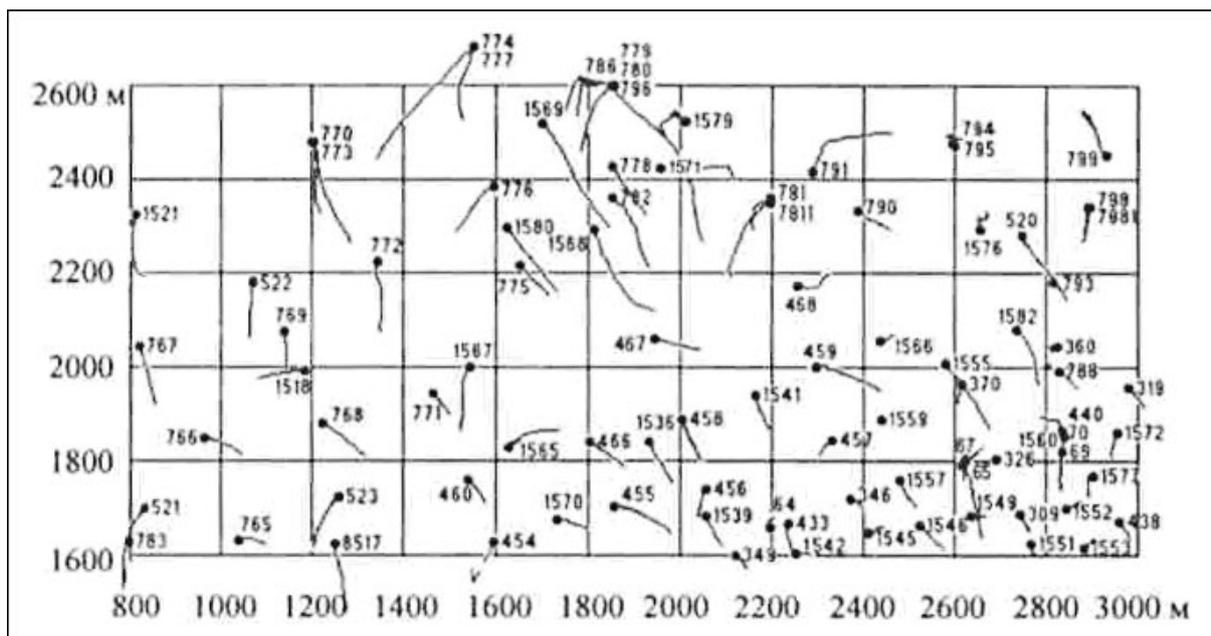
Обращает на себя внимание, что приращение  $dz$  берется со знаком минус, так как отсчет координаты  $Z$  ведется снизу вверх от уровня Мирового океана (в России от Крондштадского футштока). В некоторых странах (например, в Канаде) отсчет координаты  $Z$  осуществляется в обратном порядке - сверху вниз (например, в пакете Micromine). Некоторая сложность в расчетах возникает, если азимуты на концах отрезка переходят через  $360^\circ$ , что можно учесть введением отрицательного азимута, если он меньше  $360^\circ$ . Если замеры искривлений не доведены до забоя скважины, то оставшаяся часть скважины принимается прямолинейной с последними измеренными зенитным и азимутальным углами.

*Таблица 11*

**Координаты пунктов искривлений**

№ п/п	Номер скважин	Глубина, м	Координаты, м		
			X	Y	Z
1	25	0,0	1543,7	894,2	245,1
2	25	50,0	1544,3	895,1	195,2
3	25	100,0	1545,6	896,4	145,4
4	25	150,0	1547,2	898,2	96,5
5	25	200,0	1549,9	900,7	48,6
6	25	250,0	1551,3	903,3	-00,8
7	25	300,0	1551,2	905,0	-49,3
8	25	350,0	1550,4	907,2	-98,5

В результате расчетов получается банк координат искривленных скважин (табл. 11), который позволяет показать положение скважин в пространстве на горизонтальной и на любой другой проекции (рис. 13).



**Рис. 13** Проекция искривленных скважин на горизонтальную плоскость в северной части апатитового месторождения Коашва (Хибины)

#### ❖ Банк рудных пересечений

В банке опробования содержатся рядовые пробы (см. табл.10), взятые по отдельным типам руд. Непрерывная совокупность рядовых проб дает рудное пересечение.

*Рудное пересечение* - это отрезок от точки входа до точки выхода из рудного тела.

Иногда внутри рудного пересечения располагаются руды различных промышленных сортов: окисленные и первичные, медные и цинковые, гематитовые и магнетитовые и пр. Тогда внутри рудного пересечения выделяются отдельные пересечения сортов руд. В каждом рудном пересечении или в пересечении промышленного сорта руды рассчитывают средний состав по формуле:

$$C_{cp} = \frac{\sum C_{m\rho}}{\sum m\rho} \quad \text{или} \quad C_{cp} = \frac{\sum C_m}{\sum m}, \quad (14.4)$$

где  $m$  - длина проб;  $C$  - состав проб;  $\rho$  - плотность руды.

Когда плотность руды зависит от ее состава, применяется первая формула, в других случаях – вторая (14.4).

**Таблица 12**

**Банк рудных пересечений**

№ п/п	Номер скважины	Интервал, м			Сорт	Содержание, %		
		От	До	Длина		Cu	Zn	S
1	23	38,4	40,2	1,8	Ц	0,22	6,43	32,15
2	23	40,2	43,6	3,4	МЦ	1,87	4,35	33,48
3	23	43,6	45,8	2,2	М	1,96	0,87	32,16
4	23	45,8	48,4	3,6	МВ	1,25	0,23	18,14
Рудное пересечение		38,4	48,4	10,0	Р	1,56	2,91	30,78

В результате подобных расчетов создается банк рудных пересечений (табл.12). Фактически в табл.12 два банка: банк сортов руд, а последняя строчка - составная часть банка рудных пересечений. Одна скважина может пересечь несколько рудных пересечений, так же, как и несколько однотипных горных пород.

**❖ Банк координат геологических границ**

Имея банк данных геологической документации (см. табл.9), банк рудных пересечений (см. табл.12) и банк координат пунктов искривлений скважин (см. табл.11), можно рассчитать координаты всех геологических границ в скважинах. Координаты любой геологической границы в скважине находят путем линейной интерполяции между координатами соседних пунктов искривлений.

Пусть имеются координаты скважины на глубине 150 м ( $X_1$  - 1254,2 м,  $Y_1$  = 754,6 м,  $Z_1$  = 247,4 м) и на глубине 200 м ( $X_2$  = 1256,4 м,  $Y_2$  - 752,8 м,  $Z_2$  = 198,6 м). Требуется определить координаты геологической границы на глубине 183 м.

Ответ получаем по формуле линейной интерполяции (путем решения пропорции):

$$X = 1254,2 + (1256,4 - 1254,2)(183 - 150)/(200 - 150) = 1255,4 \text{ м};$$

$$Y = 754,6 + (754,6 - 752,8)(183 - 150)/(200 - 150) = 753,4 \text{ м};$$

$$Z = 247,4 - (247,4 - 198,6)(183 - 150)/(200 - 150) = 215,8 \text{ м}.$$

Нужно обратить внимание, что приращение координаты  $Z$  идет со знаком минус. Подобным образом находят координаты всех геологических границ. В результате получают банк всех геологических границ (табл.13).

**Таблица 13**

**Банк геологических границ**

№ п/п	Номер скважины	Координаты, м			Индекс с
		$X$	$Y$	$Z$	
1	22	2154,	1457,	236,9	ПГ
2	22	2156,	1458,	232,7	ИЗ
3	22	2163,	1462,	200,6	АРГ
4	22	2165,	1463,	197,6	Р
5	22	2168,	1471,	148,9	ГР
6	23а	1547,	2175,	233,3	ПГ
7	23а	1547,	2176,	230,8	ПОРФ
8	23а	1545,	2187,	208,1	ИЗ

Расчетом банка геологических границ завершаются практически все направления математического моделирования геологических объектов. Далее пути моделирования расходятся. В геоинформатике, где главная задача состоит в построении геологических карт, основное внимание уделяется построению контуров геологических границ, их векторизации, введению условных обозначений для площадных и точечных объектов, созданию слоев с различной информацией, к преобразованию масштабов карт, к совмещению на одном чертеже нескольких слоев информации и т.д.

## Тема 15. О моделировании месторождений

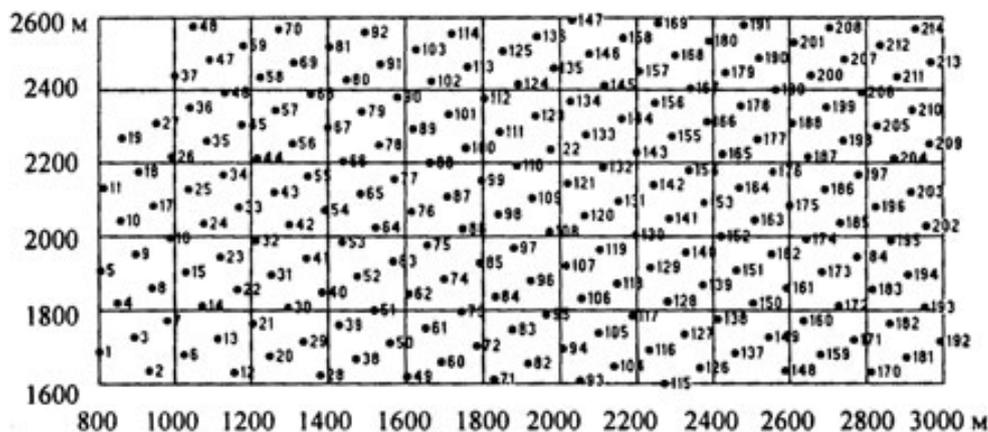
### ❖ Аналитические модели месторождений

В понятие аналитические модели месторождений вкладывается задача построения графических изображений реальных месторождений на основе координат разведочных выработок. Эта задача довольно сложная и не всегда поддается исчерпывающему решению.

Можно выделить несколько уровней сложности месторождений применительно к математическому моделированию.

1. Наиболее простые месторождения разведаны короткими вертикальными разведочными выработками, единичные рудные тела однозначно увязаны между собой, разрывные нарушения, крутые складки и размывы отсутствуют.
2. Более сложные месторождения характеризуются наличием нескольких рудных тел, увязка которых неоднозначная и возможна лишь в диалоговом режиме. Могут присутствовать разрывные и складчатые нарушения и размывы. Разведочные выработки прямолинейные.
3. Месторождения следующей группы сложности отличаются тем, что скважины искривлены, но увязка рудных тел однозначная. Проблема заключается в основном в том, что скважины не лежат в одной плоскости, разведочные выработки часто находятся далеко друг от друга и интерполяция границ носит неоднозначный характер.
4. Наиболее сложная ситуация возникает, когда в разведочных скважинах много рудных пересечений, увязка их неоднозначная, скважины искривлены, не находятся в одной плоскости (рис.13) и трудно построить плоские разрезы. В данном случае кроме диалогового режима приходится принимать специальные меры по построению плоских разрезов.

Для месторождений последних двух групп рекомендуется сделать дополнительную опорную сеть вертикальных псевдоскважин, ориентированных по заданным профилям. Так, для скважин, изображенных на рис.13, построена опорная сеть псевдоскважин, расположенных по линиям с азимутом СЗ 235° в соответствии с генеральным направлением линий, принятых на месторождении (рис.14). Опорная сеть позволяет строить разрезы по линиям опорных скважин.



**Рис. 14 Сеть опорных скважин 100 x 100 м**

Идея заключается в том, чтобы, используя геологические границы в разведочных скважинах, подобные табл.13, путем интерполяции рассчитать координаты геологических границ во всех псевдоскважинах. Далее по координатам геологических границ, имеющихся в псевдоскважинах, проводят геологические границы в плоскостях вертикальных геологических разрезов. Создание сети псевдоскважин удобно во многих случаях математического моделирования месторождений.

Интерполяция координат геологических границ между разведочными скважинами может быть осуществлена различными способами. Наиболее приемлемый способ основан на комбинации тренда и кригинга. Вначале рассчитывается двухмерный тренд, потом остаток от тренда, по остаткам

находится вариограмма и применяется кригинг по остаткам. Полезно отметить, что тренд частично снимает явление анизотропии. Наиболее сложная задача состоит в том, что перед расчетом тренда нужно идентифицировать рудные тела в диалоговом режиме. Иногда приходится рассчитывать несколько вариантов трендов, добиваясь наименьших отклонений поверхности тренда от координат рудных тел в разведочных скважинах.

Когда рудные тела идентифицированы, рассчитаны тренд, вариограмма остатков и определен радиус автокорреляции, можно прогнозировать значения координат геологических границ в опорных псевдоскважинах. При этом возникает несколько вариантов.

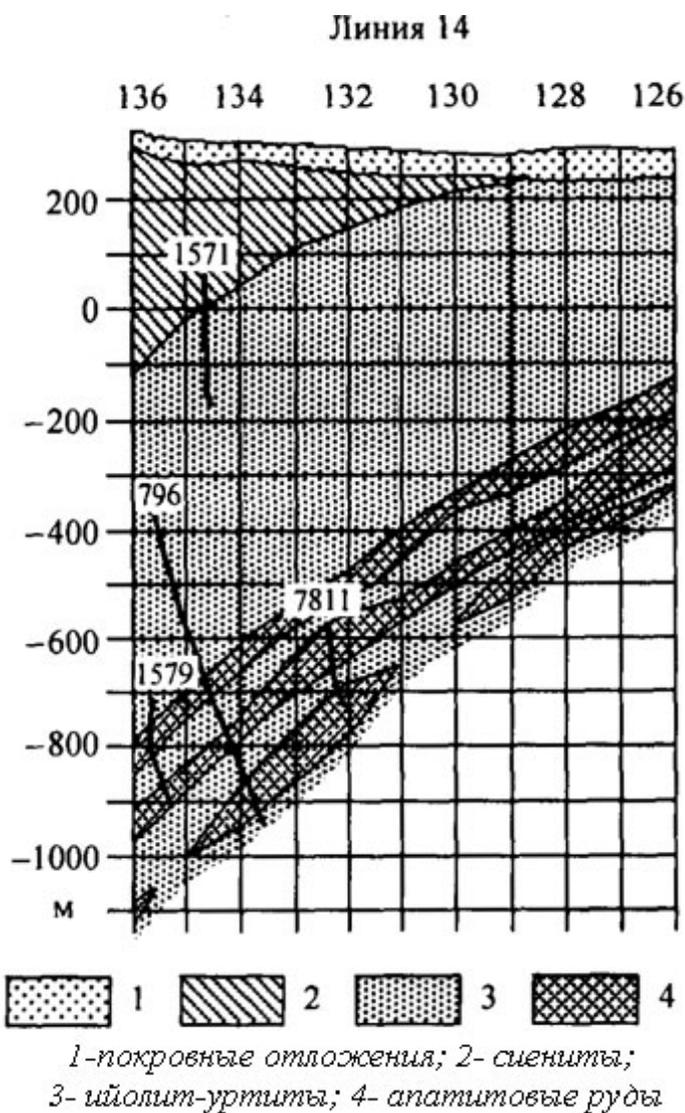
Если в пределы радиуса автокорреляции попадает более трех разведочных скважин, то кригинг осуществляется обычным способом по формуле:

$$Z = f(x) + \sum_{i=1}^m p_i z_i . \quad (15.1)$$

Если в пределах радиуса автокорреляции имеется одна или две разведочные скважины, то нужно найти вес координат геологической границы по формуле  $p_i = D - \gamma(h)$ , где  $h$  -расстояние от опорной псевдоскважины до разведочной скважины, и далее воспользоваться формулой (15.1). Если псевдоскважина находится за пределами радиуса влияния разведочных выработок, то применяют либо линейную интерполяцию, либо интерполяцию методом обратных расстояний.

Еще одна проблема возникает при расщеплении или слиянии рудных тел или при выклинивании геологических тел. При слиянии рудных тел между ними проводится условная геологическая граница либо по геологическим данным, либо с помощью тренда. При графическом изображении эту границу, естественно, не показывают. При выклинивании геологических тел для каждой расщепленной части строится своя граница,

которая совпадает с границей нижележащих пород или руд, т.е. мощность выклинившегося геологического тела считается нулевой.

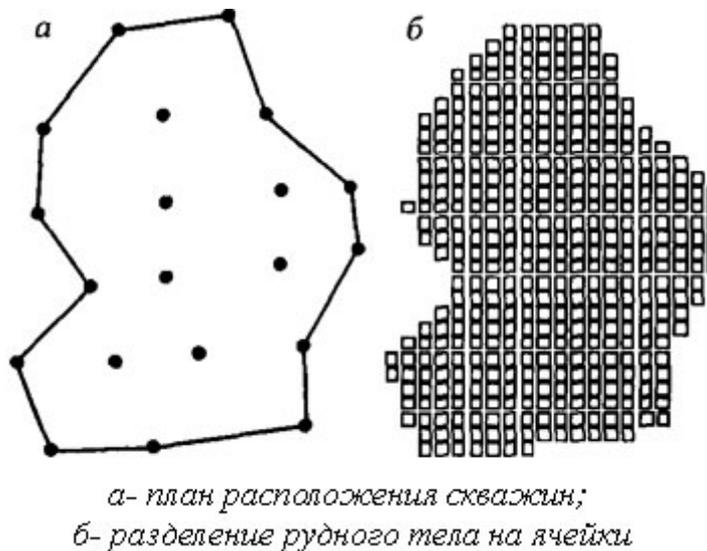


**Рис. 15 Геологический разрез по линии псевдоскважин  
месторождения Коашва**

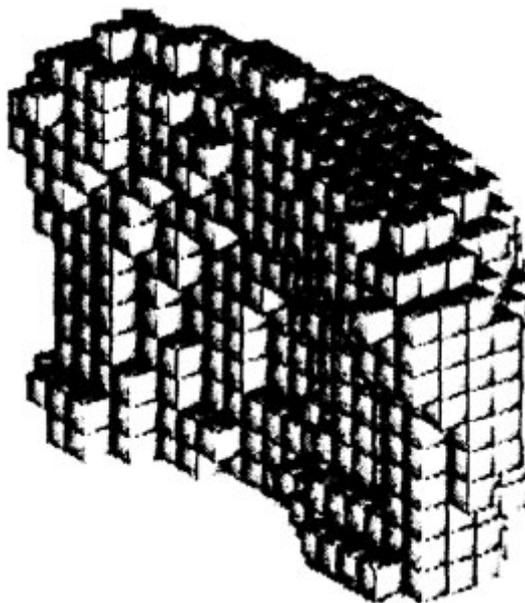
Имея координаты геологических границ в каждой псевдоскважине, можно по ним построить вертикальный геологический разрез. Наилучший вариант получается, если в качестве геологической границы в разрезе используют сплайн (скользящий сплайн). Каждое геологическое тело имеет верхнюю и нижнюю границу. Их строят одновременно, но условные обозначения горной породы или руды (цветные или штриховые) задают верхней границей (рис.15).

❖ **Блочные модели месторождений**

Месторождение с помощью сетки разбивается на элементарные одинаковые по размеру блоки. На маломощных рудных телах блоки имеют квадратную форму, а на мощных рудных телах - кубическую (рис.16 и 17).



**Рис. 16** Схема выделения ячеек на проекции рудного тела железорудного месторождения во Вьетнаме



**Рис. 17** Блочная модель месторождения по данным Горного института КНЦ АН СССР

Размер блоков может быть любой, но предпочтительнее делать блоки меньше эксплуатационных. На экране монитора размер блоков можно довести до пикселя. Обычно стараются выбрать блоки такого размера, чтобы в него попадало не менее трех разведочных выработок (в пределах радиуса автокорреляции). Чем больше в блоке разведочных выработок, тем достовернее будут определены в нем параметры.

Разбиению на блоки предшествует оконтуривание рудных тел («натягивание каркаса на рудное тело»). Блоки выделяют в пределах установленного каркаса. Используя различные методы интерполяции, в каждом блоке по данным разведочных выработок определяют параметры оруденения (состав и плотность руды, запасы руд и металла, достоверность и категоричность запасов и др.).

Для построения блочных моделей месторождений разработано большое количество пакетов прикладных программ, таких как Suprac, Micromine и др.

Особенность пакетов состоит в специальной обработке банка опробования. Рудные пересечения делят на равные интервалы (например, по 3 м) без учета типов руд. В каждом интервале по данным рядовых проб без учета плотности руды рассчитывают среднее содержание металлов. Далее определяют координаты центров рудных интервалов (методику см. в подтемах «Банк координат пунктов измерения искривлений» и «Банк координат геологических границ»), которые и используют в дальнейших расчетах. Попутно проверяют арифметические ошибки, которые могут появиться при ручном вводе исходных данных. Совокупность блоков дает пространственное представление о размещении оруденения. Для наглядности можно поворачивать полученное изображение в трехмерном пространстве. Блоки можно раскрашивать по содержанию металлов, по сортам руд, по достоверности запасов и т.д.

Суммируя содержимое блоков в заданных границах, можно рассчитать запасы руды, среднее содержание металлов как в отдельных блоках, так и по месторождению в целом.

Дополнительные программы, введенные в пакеты прикладных программ, позволяют проводить экономическую оценку месторождений (для этого потребуется дополнительная экономическая информация), обосновывать кондиции методом вариантов. Наконец, в пакетах имеются программы, предназначенные для проектирования рудников. Многообразие задач, решаемых с помощью моделей, обусловило их широкое применение при математическом моделировании и оценке месторождений.

## ОПИСАНИЕ КУРСА И ПРОГРАММА

### 1. Цели учебно-методического комплекса (УМК)

Цели преподавания курса:

- сформировать у студентов системное представление о современных геоинформационных системах и технологии их применения в геологии;
- научить использовать геоинформационные системы соответственно поставленным задачам;
- привить навыки создания, мониторинга и анализа пространственных баз геологических данных на основе современных геоинформационных систем;

### 2. Задачи УМК

- разработать схему системного подхода к геологическому изучению недр неосвоенных территорий;
- определить основные методы поиска, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых в неосвоенных регионах;
- подготовить магистров в области применения новых технологий на основе современных геоинформационных систем соответственно разработанной схеме;
- переподготовить научно-педагогический персонал ВУЗов;
- оказать практическую помощь региональным геологоразведочным предприятиям России и зарубежных стран в прогнозировании и поисках полезных ископаемых.

### **3. Инновационность УМК**

Разработка схемы системного подхода к поиску, разведке и оценке месторождений полезных ископаемых с использованием современных геоинформационных систем позволит:

- существенно повысить профессиональный уровень выпускаемых специалистов;
- вернуть Университету утраченные позиции в подготовке геологов для России и зарубежных стран;
- на равных сотрудничать (конкурировать) в области образовательных услуг с ведущими отечественными и зарубежными Университетами;
- расширить сферу экспортных образовательных услуг для стран третьего мира, производственных и научных организаций;
- оказать положительное влияние на качество прогноза, поисков, разведки и оценки основных видов минерального сырья в России и зарубежных странах.

### **4. Ожидаемые результаты обучения**

Успешное изучение курса позволит студентам:

Иметь представление:

- об основных принципах и задачах прогнозирования месторождений полезных ископаемых;
- о передовых геоинформационных системах и их применении в геологии;

Знать и понимать:

- основные методы математической обработки данных геологии, геохимии;
- главные типы моделей и особенности их применения в различных областях геологии;
- основные принципы геолого-математического моделирования;

- существующие программные и технические средства обработки данных и основные приемы интерпретации результатов обработки.

Уметь (быть способным):

- формулировать геологические задачи в виде, удобном для их решения математическими методами;
- выбирать наиболее эффективные пути достижения цели;
- иметь четкое представление о возможностях и условиях использования математических методов и современной вычислительной техники при ведении геолого-съёмочных, поисковых и геологоразведочных работ;
- интерпретировать результаты обработки геолого-геохимических данных с применением математических методов.

## **5. Требования к изучающим курс**

Предполагается, что слушатель курса должен знать следующие предметы:

- Математика,
- Информатика;
- Общая геология;
- Структурная геология;
- Инженерная графика;
- Историческая геология и палеонтология;
- Основы учения о полезных ископаемых.
- Основы работы с ОС Windows
- Основы работы со специализированными прикладными программами (Surfer, ArcGis, Micromine, Surpac)

## **6. Перечень тем рефератов**

1. Экспертные системы.
2. Реляционные базы данных.
3. Спутниковые системы дистанционного зондирования.
4. Цифровые модели рельефа.
5. Визуализация пространственных данных.
6. Точность пространственных баз данных.
7. ГИС для принятия решений с использованием множественных критериев.
8. Моделирование мира.
9. Геологические модели.
- 10.Регрессионный анализ. Понятия и задачи.
- 11.Регрессионный анализ. Понятия и задачи.
- 12.Дисперсионный анализ. Понятие и задачи.
- 13.Информативность признаков при распознавании образов.
- 14.Корреляционный анализ. Понятие и задачи.
- 15.Тренд-анализ.
- 16.Задачи геологии и геохимии, решаемые с применением математических методов и ПЭВМ.
- 17.Основные статистические гипотезы и критерии их оценки, применяемые при обработке геолого-геохимических данных.
- 18.Выборка, требования к ней.
- 19.Парная корреляция.
- 20.Геолого-математические модели.
- 21.Интерполяция геологических данных на регулярную сеть методом сеток.
- 22.Основные статистические характеристики распределения случайных величин.
- 23.Факторный анализ в геологии.

24. Методы построения геохимических карт.
25. Массив данных, выборки (понятие и принципы формирования).
26. Типы геолого-математических моделей.
27. Принцип выделения геохимических аномалий.

## **7. Ориентировочный список рекомендуемой литературы**

1. *Астахов А.С., Зайденварг В.Е., Певзнер М.Е., Харченко В.А.* Экономические и правовые основы природопользования. Учебное пособие для ВУЗов / Под ред. В.А. Харченко – М.: Изд-во МГГУ, 2002 – 527 с.
2. *Борзунов В.М.* Разведка и промышленная оценка месторождений нерудных полезных ископаемых. – М.: Недра, 1982.
3. *Геология и разведка месторождений полезных ископаемых:* Учебник для ВУЗов / Под редакцией В.В.Ершова – М.: Недра, 1989
4. *Ершов В.В.* Основы горнопромышленной геологии: Учебник для ВУЗов – М.: 1988. – 328с.
5. *Месторождение полезных ископаемых:* Учебное пособие для ВУЗов / Под редакцией В.А. Ермолова. – М.: Изд-во МГГУ, 2001. – 570с.
6. *Каждан А.Б.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: Научные основы поисков и разведки полезных ископаемых. – М.: Недра, 1984.
7. *Каждан А.Б., Гуськов О.И.* Математические методы в геологии: Учебное пособие для ВУЗов. – М. Недра, 1990. – 251с.
8. *Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых. – М.: Недра, 1985.
9. *Справочник по поискам и разведке месторождений цветных металлов / А.И. Кривцов, И.З. Самонов, Е.И. Филатов и др.* – М.: Недра, 1985.

10. *Абрамович И.И.* Математическая геология и математический прогноз / И.И. Абрамович, Л.Н. Луденко, Ю.И. Михайлова / Тр. ВСЕГЕИ. 1972. Т.178
11. *Боровиков В.* Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. 2-е изд. СПб: Питер, 2003. 688 с.
12. *Цветков В.Я.* Геоинформационные системы и технологии: Учебное пособие / Московский институт геодезии и картографии. М., 1996. 112 с.
13. *Шаталов И.И.* Моделирование месторождений и рудных полей на ЭВМ: Учебное пособие / И.И. Шаталов, В.И. Щеглов. М.: Недра, 1989. 150 с.

#### **8. Рекомендуемые ссылки на интернет-ресурсы**

1. Геоинформационные технологии - <http://www.gis.tyumen.ru/>
2. Неофициальный сервер геологического факультета МГУ  
<http://geo.web.ru/>
3. Геоинформационные системы - <http://gis.report.ru/>
4. Gis-LAB: Вопросы и ответы - <http://gis-lab.info/qa.html>
5. Геоинформационный портал ГИС-Ассоциации - Публикации -  
<http://gisa.ru/publicat.html>