

**А. Г. Баранников**

**ПОИСКИ И РАЗВЕДКА**  
**ВЕДУЩИХ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ**  
**МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

*Учебное пособие*

**Екатеринбург – 2011**

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

«Уральский государственный горный университет»



А. Г. Баранников

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА  
ВЕДУЩИХ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Учебное пособие*

Екатеринбург – 2011

УДК 550.8+553  
Б 24

Рецензенты: главный геолог ОАО «Уралцветметразведка», кандидат геолого-минералогических наук *М. Я. Волькиништейн*; профессор, доктор геолого-минералогических наук *В. В. Бабенко* (ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»)

Печатается по решению Редакционно-издательского совета  
Уральского государственного горного университета

**Баранников А. Г.**

Б 24      Поиски и разведка ведущих геолого-промышленных типов месторождений полезных ископаемых: учебное пособие / А. Г. Баранников; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 183 с.  
ISBN 978-5-8019-0282-1

Содержание пособия раскрыто в двух разделах. В первом приведена систематика объектов геологического прогнозирования и поисков, рассмотрены задействованные при этом принципы. Сформулированы цели и задачи оценочных работ, а также требования к их конечным результатам. Дана обобщенная группировка месторождений для целей разведки; отмечены принципы, определяющие методику проведения разведочных работ. Во втором разделе (наиболее значительном по объему) кратко охарактеризован ряд ведущих геолого-промышленных типов месторождений полезных ископаемых (железорудных, меднорудных, золоторудных, бокситовых, россыпных, техногенных). Выборочно для отдельных протипов проанализированы основные геологические факторы, определяющие обоснование методики прогнозной оценки и поисковых работ. Сформулированы требования, предъявляемые государственной комиссией по запасам (ГКЗ) к изученности разведываемых месторождений и конечным результатам выполняемых работ.

Учебное пособие призвано способствовать успешному изучению студентами дисциплины «Поиски и разведка промышленных типов МПИ».

Табл. 12. Рис. 33. Библ. 42 назв.

УДК 550.8+553

© Уральский государственный  
горный университет, 2011  
© Баранников А. Г., 2011

ISBN 978-5-8019-0282-1

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. СИСТЕМАТИКА ОБЪЕКТОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ .....	8
1.1. Прогнозные работы, их цель, конечный результат .....	8
1.2. Поисковые работы, их цель, конечный результат .....	12
1.3. Оценочные работы, их цель, конечный результат .....	14
1.4. Разведочные работы, их цель, требования к конечным результатам .....	15
2. ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ ВЕДУЩИХ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ .....	19
2.1. Железорудные месторождения .....	19
2.1.1. Железо, его промышленное значение, требования к качеству сырья .....	19
2.1.2. Металлогенические эпохи накопления железа .....	21
2.1.3. Промышленные типы месторождений .....	22
2.1.4. Поисковые работы .....	23
2.1.5. Разведка железорудных месторождений .....	31
2.2. Меднорудные месторождения .....	43
2.2.1. Медь, промышленное значение металла, требования к качеству сырья .....	43
2.2.2. Металлогенические эпохи накопления меди .....	44
2.2.3. Промышленные типы месторождений .....	45
2.2.4. Прогнозно-поисковые и поисковые работы .....	46
2.2.5. Разведка меднорудных месторождений .....	65
2.3. Золоторудные месторождения .....	74
2.3.1. Золото, его свойства, промышленное значение, минеральные формы нахождения .....	74
2.3.2. Сведения о металлогенических эпохах накопления золота .....	76
2.3.3. Систематика ведущих геолого-промышленных типов месторождений .....	78

2.3.4. Типизация обстановок нахождения золоторудных месторождений для целей прогноза, поисков и оценки выявленных объектов .....	80
2.3.5. Последовательность проведения поисковых работ на основе прогнозно-поисковых комплексов.....	82
2.3.6. Разведка золоторудных месторождений .....	96
2.4. Алюминиевое сырье .....	113
2.4.1. Алюминиевое сырье, его минеральный состав, направления использования .....	113
2.4.2. Ведущие критерии прогнозирования месторождений бокситов.....	114
2.4.3. Промышленные типы месторождений алюминия.....	119
2.4.4. Разведка месторождений бокситов .....	122
2.5. Россыпные месторождения .....	133
2.5.1. Общие сведения о россыпях ценных минералов.....	133
2.5.2. Систематика россыпей. Характеристика ведущих геолого-промышленных типов .....	135
2.5.3. Геолого-геоморфологические факторы россыпеобразования, их учет при прогнозировании и поисках .....	140
2.5.4. Способы промышленного освоения россыпных месторождений .....	148
2.5.5. Разведка россыпей .....	150
2.6. Техногенные месторождения.....	165
2.6.1 Понятие о техногенных месторождениях .....	165
2.6.2. Сведения о минерально-сырьевой базе техногенных образований Свердловской области ..	167
2.6.3. Стадийность изучения техногенных месторождений .....	168
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	178
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	180

## ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии излагается материал, призванный расширить и закрепить профессиональные знания студентов при изучении ими «базовых» дисциплин методического цикла по специализации «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» направления подготовки 130101 «Прикладная геология», а именно: «Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых», «Опробование твердых полезных ископаемых», «Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых». Помимо этого в учебном плане подготовки дипломированных специалистов предусмотрено изучение на 9-м семестре курса «Поиски и разведка промышленных типов месторождений полезных ископаемых» с общей трудоемкостью 108 ч. Однако учебного пособия по обозначенной тематике, учитывающего многочисленные появившиеся методические документы, нет. В ранее опубликованных литературных источниках учебно-методической направленности лишь кратко рассмотрены примеры разведки некоторых промышленных типов месторождений [5, 7, 8, 25, 32, 33]. Ценное по содержанию учебное пособие В. В. Аристова и А. Н. Рокова, посвященное локальному прогнозу и методике поисков основных промышленных типов месторождений [1], в библиотеке УГГУ отсутствует.

В последние годы появился ряд методических документов, содержание которых студенты обязаны знать и уметь их использовать при подготовке учебных проектов на 8-м, 9-м семестрах и дипломном проектировании. В их числе: новое положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям [35]; новые требования, отраженные в классификации запасов и прогнозных ресурсов [9]; справочники по минеральному сырью [26]; методические указания по применению классификации запасов для отдельных видов полезных ископаемых [18 – 21].

Учитывая сравнительно небольшой объем аудиторных занятий по рассматриваемой дисциплине, в предлагаемом учебном пособии определены подходы к оценке лишь ограниченного количества промышленных типов рудных полезных ископаемых (ведущих), а именно: эндогенного генезиса – месторождения железа, меди, золота; экзогенного генезиса – бокситовые и россыпные месторождения, а также техногенные образования. Для каждого типа по-

лезного ископаемого *определены основы методических решений*, используемых при проведении прогнозных и поисковых работ, а также *сформулированы требования*, предъявляемые ГКЗ к разведываемым месторождениям. Примеры разведки отдельных промышленных типов месторождений в учебном пособии не рассматриваются. Для ознакомления с этим материалом рекомендуются уже опубликованные учебники и учебные пособия.

Какой же смысл автор пособия вкладывает в понятие «ведущий» геолого-промышленный тип? По нашему мнению, это месторождения минерального сырья, которые имеют на современном этапе определяющее значение в экономике страны и занимают передовые позиции в расходовании бюджетных и корпоративных средств на поиски и разведку промышленных объектов. Конечно, рассматриваемый в учебном пособии перечень не охватывает все «ведущие» геолого-промышленные типы. Сюда следовало бы также отнести остро востребованные в настоящее время месторождения хромовых и марганцевых руд, редкометалльные объекты, месторождения урана, алмазов и т. д. Однако сколько-нибудь системного их рассмотрения в рамках ограниченного по объему учебного пособия не представляется возможным. Методология их изучения и оценки во многом идентична охарактеризованным протипам.

Материал по каждому полезному ископаемому изложен по единой схеме, в определенной последовательности: полезное ископаемое, его промышленная значимость, требования к качеству сырья, металлогенические эпохи накопления металла, ведущие промышленные типы месторождений (лишь их перечень), подходы к прогнозно-поисковой и поисковой оценке площадей, вопросы, подлежащие изучению при оценочных работах и разведке месторождений. Для более глубокой проработки затрагиваемых вопросов читателя отсылают к соответствующим литературным источникам.

Содержание излагаемого в учебном пособии материала подчинено требованиям, предъявляемым к уровню освоения студентами знаний по рассматриваемой дисциплине и отраженным в утвержденной рабочей учебной программе, а именно:

Студент должен *иметь представление*: о системе объектов геологического прогнозирования и поисков, систематике промышленных типов месторождений при поисковой оценке территорий, группировке месторождений по сложности геологического строе-

ния для целей разведки, требованиях, предъявляемых ГКЗ при разведке месторождений полезных ископаемых.

Студент должен *знать и уметь*: обосновать ведущие поисковые критерии и признаки для прогнозируемого типа полезного ископаемого, изложить их в виде предлагаемого прогнозно-поискового комплекса, обосновать рациональную систему разведки для конкретного геолого-промышленного типа, предложить необходимый на стадии разведки комплекс работ по опробованию, лабораторным и химико-аналитическим исследованиям, оценить ожидаемые прогнозные ресурсы полезного ископаемого, подсчитать запасы наиболее рациональным способом.

# 1. ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ. СИСТЕМАТИКА ОБЪЕКТОВ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

## 1.1. Прогнозные работы, их цель, конечный результат

*Прогноз* (слово греческое) – предвидение или предсказание изменений в развитии и исходе событий (явлений, процессов) на основе полученных данных. Прогноз полезных ископаемых или геологическое прогнозирование – предсказание возможного появления геологических тел в пределах изученной или неизученной территории на основе обобщения и анализа собранных данных (геологических, минералого-геохимических, геофизических и т. д.).

Объектами изучения при геологическом прогнозировании и поисках являются минерализованные участки недр, содержащие скопления полезных ископаемых. Однако сразу обнаружить, очертить и оценить в пределах выделенных перспективных площадей и участков месторождения полезных ископаемых не представляется возможным. Здесь требуется *системный подход* к изучению недр, основывающийся на учете *иерархии структурных уровней рудоносных площадей*. Он включает в себя следующие виды геологического прогноза: планетарный, региональный, локальный, детальный [1, 2].

*Планетарный прогноз* производится в масштабе 1:1500000 и мельче. Основывается на обобщении сведений по закономерностям размещения месторождений полезных ископаемых в пределах значительных по размерам территорий. Конечной целью проводимых исследований является выделение минерагенических провинций, составление обзорных карт размещения полезных ископаемых для перспективного планирования развития экономики отдельных территорий.

*Региональный прогноз* (М 1:1000000-1:200000 и 1:100000) осуществляется в пределах уже определившихся минерагенических провинций. Выполняется на первой стадии геологоразведочных работ I этапа – «Региональное геологическое изучение недр и прогнозирование полезных ископаемых». Включает в себя выделение минерагенических зон, поясов и областей с оконтуриванием потенциальных рудных районов, оценкой в их пределах прогнозных ресур-

сов категории  $P_3$ . Выполненные исследования являются основой для стратегического планирования рационального использования недр.

*Локальный прогноз* выполняется на небольших площадях и участках региональных структур, где известно или предполагается наличие полезных ископаемых. Может осуществляться в различных масштабах при проведении стадий II этапа геологоразведочных работ («Поиски и оценка месторождений»), отчасти в рамках I этапа:

– на стадии *прогнозно-поисковых работ* (М 1:50000-1:25000): объект исследования – рудные районы; цель исследования – оконтуривание перспективных площадей в ранге рудных полей с обоснованием прогнозных ресурсов категорий  $P_3$  и  $P_2$ ; официально эта стадия в существующей стадийности геологоразведочных работ отсутствует; она была введена как дополнительная специальным приказом по МПР;

– на стадии *поисковых работ* (М 1:25000-1:1000 и мельче): объект исследования – рудные районы и рудные поля; цель работ – выявление проявлений и месторождений полезных ископаемых, их структурно-геологической позиции; обоснование прогнозных ресурсов категорий  $P_2$  и  $P_1$ ;

– на стадии *оценочных работ* (М 1:10000-1:1000): объект исследования – выявленные проявления полезных ископаемых с уже оцененными прогнозными ресурсами категорий  $P_1$  и  $P_2$ ; цель работ – оконтуривание рудных тел и залежей с предварительной оценкой их промышленной значимости по категориям  $C_2$  (отчасти  $C_1$  на участках детализации) и прогнозных ресурсов  $P_1$  (по менее изученным частям объекта).

*Детальный прогноз* осуществляется на III этапе проведения геологоразведочных работ («Разведка и освоение месторождения») – при разведке (доразведке) и эксплуатационной разведке месторождений полезных ископаемых. На стадии разведки предусматривается сбор и обобщение информации о количестве и качестве запасов (категорий  $A$ ,  $B$ ,  $C_1$  и  $C_2$ ), минеральном, химическом составе полезного ископаемого, его технологических свойствах; на стадии эксплуатационной разведки – уточнение контуров, вещественного состава, внутреннего строения тел полезных ископаемых, количества и качества полезных ископаемых, их технологических свойств в

блоках и отдельных участках месторождения (объектах первоочередной отработки).

Все виды геологического прогнозирования между собой логически взаимосвязаны. Даже при обосновании прогноза, базирующегося на локальных предпосылках и признаках ожидаемого типа оруденения, всегда следует учитывать результаты ранее проведенных геологических обобщений планетарного и регионального масштабов. Как это принято утверждать: нужно «мыслить глобально, действовать локально». Именно конкретное сочетание планетарного, регионального и локального прогнозов находит отражение в графическом оформлении карт прогноза различного масштаба, где должны быть учтены и отражены ведущие закономерности размещения полезных ископаемых.

С учетом сказанного методологически важным представляется понятие о «промежуточных» и «конечных» объектах прогноза и поисков, введенное ещё в 70-е годы XX столетия В. В. Аристовым.

*Промежуточными объектами* геологического прогнозирования являются аномальные поля, включающие в себя перспективные площади, зоны, участки с выявленными или предполагаемыми проявлениями полезных ископаемых. *Конечными объектами* прогноза и поисков являются месторождения полезных ископаемых определенных геолого-промышленных типов. Однако их практическая (промышленная) значимость может быть доказана только по результатам разведочных работ. Как уже было отмечено, непосредственно прогнозировать «собственно месторождения» – маловероятно и обычно лишено смысла. Поэтому и предложена многоступенчатая система прогнозирования с последовательным сокращением размеров перспективных площадей, постоянно приближающая исследователя к определению геологической позиции потенциального месторождения. При этом каждая металлогеническая единица (или класс – площадь определенного иерархического уровня), являясь объектом прогнозирования, в то же время представляет собой прогнозный фон для последующего класса прогноза [29].

При геологическом прогнозировании и поисках месторождений полезных ископаемых руководствуются рядом *принципов*. Их соблюдение позволяет избежать ошибок при обосновании методики проведения поисковых работ и доказать ее статус «рациональной», а в ряде случаев и «оптимальной».

*Принцип геологической аналогии* используется при определении позиции прогнозируемого объекта на основе анализа геологической ситуации, а также для определения качественных и количественных параметров оцениваемых прогнозных ресурсов. Научной основой при использовании этого принципа являются разрабатываемые *прогнозно-поисковые модели* разноранговых объектов прогноза. Они состоят из сопряженных и соподчиненных элементов рудоносного пространства, обобщенных в совокупности разных рудоконтролирующих элементов перспективных территорий.

*Принцип последовательных приближений* реализуется в результате перехода от мелко-, среднемасштабных работ к более детальным, что обусловлено необходимостью периодической оценки результатов проведенных работ и принятием решения о целесообразности продолжения детальных исследований.

*Принцип соответствия поисковых методов поисковым признакам* обусловлен тем, что каждый геолого-промышленный тип месторождения может быть представлен в виде пространственной физико-геологической модели. При этом позиция модели потенциального месторождения находит отражение в совокупности полей – минералогических, геохимических, геофизических. Частные «сечения» этих полей проявляют себя в виде набора поисковых признаков. Поэтому исследование пространственного распределения признаков рудоносности представляет собой самостоятельный поисковый метод.

*Принцип учета природных условий* проведения поисковых работ учитывает необходимость «приспособления» выбранных методов поисков к природно-ландшафтным особенностям оцениваемой территории.

*Принцип рационального комплексирования методов поисков* заключается в обосновании прогнозно-поисковых комплексов. Они разрабатываются для отдельных стадий (для разного масштаба проводимых исследований) с учетом сконструированных геолого-геофизических моделей потенциальных месторождений, ожидаемых геолого-промышленных типов и природных условий проведения работ.

## 1.2. Поисковые работы, их цель, конечный результат

*Поиски твердых полезных ископаемых* – технологический процесс, включающий комплекс работ и связанных с ними исследований, направленных на выявление и перспективную оценку различных по размерам территорий на основе анализа поисковых критериев, прямых и косвенных признаков полезных ископаемых. Задачами поисковых работ являются: 1) локализация геологического прогноза и подтверждение его открытием рудопроявлений полезных ископаемых; 2) обоснование комплекса методов наиболее эффективного выявления промышленных скоплений полезных ископаемых; 3) оценка прогнозных ресурсов категорий  $P_2$  и  $P_1$  с их предварительной геолого-экономической оценкой по укрупненным показателям. Как и на стадии геологического прогнозирования, в основе проведения поисков лежит выявление пространственной взаимосвязи между типовыми геологическими обстановками, отраженными на картах, проектных геологических разрезах, и позицией потенциальных рудоносных объектов.

Поисковые работы проводятся на новых или недостаточно изученных площадях с целью выявления потенциальных рудных полей, месторождений и проявлений полезных ископаемых, определения по совокупности обоснованных поисковых критериев и признаков целесообразности их дальнейшего изучения. Объектами исследований являются рудные районы, узлы, поля, выявленные на предшествующей стадии геологоразведочных работ и уже имеющие прогнозные ресурсы категорий  $P_3$  и  $P_2$ . Возможно проведение поисковых работ и на ранее опоскованных площадях при условии изменения представлений об их геологическом строении, конъюнктуре минерального сырья, внедрении более эффективных технологий его переработки.

Поисковые работы включают в себя комплекс геологических, минералогических, геофизических и иных видов исследований, сопровождаемых проходкой поверхностных горных выработок и буровых скважин. На основе анализа геологического строения территории, природных и ландшафтных особенностей, имеющегося опыта исследований разрабатывается прогнозно-поисковый комплекс применительно к прогнозируемому геолого-промышленному типу.

По совокупности полученной геологической, геофизической и минералого-геохимической информации, ее комплексной интер-

претации выделяют перспективные аномалии. Их вскрытие, подтверждение и опробование развитых здесь минерализованных пород производится поверхностными горными выработками и поисковыми скважинами. Для поисков скрытых и погребенных объектов используется глубинное бурение в сочетании со скважинной геофизикой и геохимией.

В отобранных пробах определяют содержание основных и сопутствующих компонентов. В необходимых случаях изучают технологические свойства полезного ископаемого. Результатом выполненных поисковых работ является оценка перспектив исследуемой площади. На выявленных проявлениях полезных ископаемых проводят геолого-экономическую оценку по укрупненным показателям оцененных прогнозных ресурсов категорий  $P_2$  и  $P_1$ . Положительно оцененные проявления включают в фонд объектов, подготавливаемых для постановки оценочных работ и выдачи соответствующих лицензий.

Одной из геологических задач поисковых работ является сопоставление обнаруженного оруденения с определенным геолого-промышленным типом. Определение промышленного типа важно уже на ранних стадиях геологоразведочных работ для предварительного суждения о перспективах промышленной ценности изучения объектов. *Под геолого-промышленным типом* следует понимать рудно-формационный тип месторождений, по совокупности характеристик отвечающих современным требованиям горнодобывающей промышленности к минеральному сырью. Геолого-промышленный тип – это «конечный объект» геологического прогнозирования. Для большинства полезных ископаемых отмечается значительно большее число генетических типов, нежели промышленных. С течением времени одни промышленные типы месторождений исчезают, полностью «вырабатываются», а их место занимают иные генотипы, обычно характеризующиеся другими оценочными параметрами (более бедными рудами, не благоприятными для переработки технологическими показателями и т. д.). Нужно понимать, что статус «месторождения» оцениваемый объект определенного геолого-промышленного типа приобретает только по результатам его разведки.

### 1.3. Оценочные работы, их цель, конечный результат

Оценочные работы являются началом разведочных работ. Ранее эту стадию подразделяли на поисково-оценочные работы и предварительную разведку [3].

При проведении оценочных работ в первую очередь методами геологического картирования в крупном масштабе (1:25000 – 1:10000) осуществляется оконтуривание выявленного проявления в плане. Эта съемка опирается на вскрытие полезного ископаемого поверхностными горными выработками (канавами, шурфами, расчистками) и скважинами. Оценка залежей по падению производится скважинами до глубины, экономически целесообразной для отработки объекта. Все вскрытые в естественных и искусственных обнажениях выходы полезной минерализации подвергаются опробованию и анализу на основные и попутные компоненты. По лабораторным исследованиям предварительно оценивают условия переработки сырья и получения товарной продукции. Изучают горно-технические, гидрогеологические условия отработки месторождения в объеме, достаточном для обоснования способа вскрытия и отработки, оценки водопритоков в горные выработки и очистное пространство, определяют источники водоснабжения предприятия. Собирают и систематизируют сведения по оценке экологических условий отработки и ее влиянию на природную среду.

В результате проведенных работ должна быть дана промышленная оценка месторождения с подсчетом всех или большей части запасов по категории  $C_2$ . По менее детально изученной части месторождения оценивают количественно и качественно прогнозные ресурсы по категории  $P_1$  с указанием их границ. Достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии тел полезных ископаемых подтверждается на участках детализации с подсчетом разведанных запасов по категории  $C_1$ .

По завершении оценочных работ разрабатываются «временные» кондиции и представляется исходная информация для составления технико-экономического доклада (ТЭДа) по определению целесообразности и очередности промышленного освоения месторождения.

По результатам оценочных работ и соответствующих технико-экономических расчетов подготавливается пакет геологической информации для проведения конкурса (аукциона). По результатам

аукциона принимают решение о переходе к разведке месторождения с последующим его вовлечением в эксплуатацию.

#### **1.4. Разведочные работы, их цель, требования к конечным результатам**

*Разведка* проводится на уже оцененных месторождениях, получивших положительную экономическую оценку на стадии оценочных работ. *Главная цель разведки* – получение исходных данных для составления технического проекта освоения месторождения в целом или его части, выделяемой под отработку в первую очередь. Для достижения этой цели требуется выяснение основных характеристик и параметров месторождения, в число которых входят [6]:

- 1) форма, размеры, условия залегания тел полезных ископаемых, характер и степень неоднородности этих признаков;
- 2) качество, минеральный и химический состав полезных ископаемых, типы и сорта руд, неравномерность оруденения;
- 3) запасы полезных ископаемых, их масштаб, распределение в пределах месторождения;
- 4) горно-геологические характеристики месторождения: сложность геологического строения для целей разведки, технологические свойства руд, физико-механические параметры пород, гидрогеологические условия освоения объекта;
- 5) горно-экономические характеристики: физико-географические и экономические условия района, баланс запасов и потребления данного вида минерального сырья, ожидаемые размеры капитальных и эксплуатационных затрат, планируемая рентабельность освоения месторождения и т. д.

С учетом сказанного геолог-разведчик по завершении проекта должен представлять, какой способ отработки месторождения целесообразен, какие условия переработки руды при этом подходят.

При разведке наиболее детально изучается та часть месторождения (30-50 %), которая обеспечит возмещение затрат на промышленное строительство. В ходе эксплуатации, по мере отработки, проводится *доразведка* других частей месторождения. Как это оговорено в существующем «Положении о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям...» (1999), между «разведкой» и «доразведкой» нет строго регламентированных времен-

ных и пространственных границ (если это специально не оговорено в лицензии).

Важнейшими показателями, определяющими методику разведочных работ, являются морфология и условия залегания залежей. Впервые группировка рудных месторождений для целей разведки была предложена В. М. Крейтером в 1940 г. Все месторождения, исходя из учета формы рудных тел и размеров, им было предложено разделять на пять групп:

- 1) пластовые и пластообразные тела, занимающие определенный стратиграфический горизонт; к этой группе были отнесены и россыпи;
- 2) крупные залежи, неправильные тела и минерализованные массивы штокверкового и гнездового распределения, залегающие в прочных породах;
- 3) жилы- и линзообразные рудные тела в различных породах;
- 4) трубчатые и ветвящиеся залежи небольших размеров;
- 5) мелкие гнезда, штокверки, линзы, карманы и трубки в различных породах.

Разработанные В. М. Крейтером принципы группировки месторождений были положены в основу большинства последующих группировок, а также инструкций ГКЗ по применению классификации запасов. В настоящее время в практике геологоразведочных работ используют группировку месторождений, предлагаемую ГКЗ. Она содержит практически те же формулировки природных морфологических групп месторождений. Помимо этого для каждой группы по сложности геологического строения (всего выделено четыре группы) рекомендуется использовать количественные показатели: коэффициент рудоносности ( $K_p$ ), показатель сложности геолстроения ( $q$ ), коэффициенты вариации мощности ( $V_m$  %) и содержания ( $V_c$  %) компонентов. Подобный подход, по мнению авторов данного предложения (В. И. Бирюков, М. Н. Денисов), должен способствовать более рациональному проведению разведочного процесса – от его проектирования до подсчета запасов полезных ископаемых.

Группировка промышленных типов месторождений, отражающая взаимосвязь масштаба месторождений и морфологии тел полезных ископаемых, приведена в табл. 1.

Разведка месторождений производится за счет средств недропользователей. Очевидно, что к проведению геологоразведочных

работ в этом случае должны быть предъявлены особо жесткие требования. В их числе: достижение максимальных результатов при минимальных затратах труда и времени; обоснование максимально возможной ценности разведанного месторождения (за счет комплексного использования сырья); минимизация рисков, связанных с не подтверждением количества, качества запасов и условий отработки месторождения и т. д. [42].

Таблица 1

**Группировка промышленных типов  
месторождений полезных ископаемых  
для целей локального прогноза, поисков и разведки,  
по (Аристов, Роков, 1996)**

	По масштабу			
	уникальные	крупные	средние	мелкие
По морфологии тел полезных ископаемых	Пластовые и пластообразные	Пластовые и пластообразные	Пластовые и пластообразные	Пластовые и пластообразные
	Штокверки, массивы	Штокверки, штоки	Штокверки, штоки	Штокверки, штоки
	Линзовидные и сложной формы залежи	Линзовидные и сложной формы залежи	Линзовидные и сложной формы залежи	Линзовидные и сложной формы залежи
		Жилы и жильные зоны	Жилы и жильные зоны	Жилы и жильные зоны
			Трубообразные	Трубообразные
				Гнездообразные

Объектом геологического изучения при проведении разведочных работ является часть недр, закрепленная лицензией в виде горного отвода. На этой стадии завершается исследование месторождения с поверхности с составлением на инструментальной основе геологической карты. Приповерхностные части месторождения вскрываются горноразведочными выработками (канавами, шурфами) и мелкими скважинами. Разведка на глубину проводится скважинами до горизонтов, разработка которых экономически целесообразна. Месторождения сложного строения разведываются скважинами в сочетании с подземными горными выработками. По результатам разведочных работ разрабатывается технико-экономическое обоснование (ТЭО) постоянных кондиций. Производится подсчет запасов основных и попутных полезных ископаемых по категориям в соответствии с группировкой месторождений по сложности строения.

Технико-экономическое обоснование освоения месторождения (включая постоянные разведочные кондиции), материалы подсчета запасов подлежат государственной экспертизе (геологической, экономической, экологической).

Для получения надежных результатов разведки выполняемая оценка объекта базируется на соблюдении определенных *принципов*, учитывающих как конечную цель выполняемых работ, так и геологические особенности изучаемых объектов. Помимо ранее сформулированных принципов, имеющих прямое отношение к разведке (геологической аналогии, последовательных приближений), на эффективность ГРР также влияют следующие:

– *принцип полноты исследований* – должно быть изучено все месторождение (или залежь полезного ископаемого) во избежание пропуска отдельных рудных тел, рудных столбов, некондиционных участков и т. д. Несоблюдение этого принципа может привести к тому, что горное предприятие будет разрабатывать не лучшую залежь или далеко не лучший участок месторождения;

– *принцип равной достоверности* – все геолого-промышленные параметры месторождения должны быть изучены с одинаковой надежностью. Несоблюдение этого положения может привести к последующему переводу запасов в более низкие категории;

– *принцип минимальных затрат* (или принцип максимальной эффективности) – необходима максимальная экономия времени, материальных средств и затрат рабочей силы. Взаимосвязь с принципом полноты исследования проявляется в том, что в каждый момент выполнения ГРР затраты на получение дополнительной информации не должны превышать экономических потерь, вызванных возможными просчетами при проектировании горнодобывающего предприятия;

– *принцип выборочной детализации* – ГРР в объеме всего объекта должны сочетаться с выборочными более детальными работами на отдельных локальных участках. Чем типичнее окажутся участки детализационных работ, тем полнее проявит себя критерий подобия и меньше будут погрешности распространения данных эталона на весь оцениваемый объем месторождения.

## 2. ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ ВЕДУЩИХ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

### 2.1. Железорудные месторождения

#### 2.1.1. Железо, его промышленное значение, требования к качеству сырья

*Железо* – типичный сидерофильный элемент, имеющий много общих черт с другими представителями семейства элементов группы черных металлов (Ti, V, Cr, Mn). У элементов этого семейства – близкие атомные радиусы, большая сила связи между атомами. Этим обусловлены высокие температуры их плавления и кипения, а также прочностные свойства, делающие эти металлы особо ценными в технике [19].

Наиболее распространенными являются железоуглеродистые сплавы (чугун, сталь), сплавы железа с марганцем (ферромарганец), кремнием (феррокремний), хромом (феррохром), а также с W, V, Nb. Они играют ведущую роль в машиностроении.

Известно более 300 минералов железа. Промышленными являются минералы:

– *оксиды и гидроксиды* – магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – 72,4 % Fe), гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 70 % Fe), мартит (псевдоморфозы гематита по магнетиту), гидрогетит (лимонит) ( $\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$  – 48-63 % Fe), гетит ( $\text{FeO}(\text{OH})$  – 52,0-62,9 % Fe);

– *карбонаты* – сидерит ( $\text{FeCO}_3$  – 48,3 % Fe);

– *силикаты железа* – шамозит и тюрингит (27-38 % Fe).

По содержанию железа выделяют *богатые руды* (Fe более 57 %) и *бедные* (требующие обогащения).

Для производства чугуна применяют железные руды с содержанием (в %) железа – более 38-50 и вредных примесей: серы – менее 0,3, фосфора – менее 0,2, цинка, свинца, мышьяка и меди – менее 0,1 [14]. По величине коэффициента основности (К. О.) (отношения суммы содержаний оксидов кальция и магния к сумме оксидов кремния и алюминия) железные руды (и их концентраты) подразделяют на кислые (К. О. менее 0,7), самофлюсующиеся (К. О. 0,7-1,1) и основные (К. О. более 1,1). Из них лучшими являются самофлюсующиеся. Кислые руды требуют введения в доменную

шихту флюса (известняка). Ограничивает использование железных руд и кремниевый модуль (отношение содержания оксидов кремния и алюминия), который должен быть ниже 2. Для руд, подвергающихся обогащению, нижнее содержание железа в руде устанавливается в пределах от 14 до 25 %. Если в руде большое количество серы, то их агломерируют (спекают); при этом сера удаляется. При высоком содержании фосфора его переводят в шлак; последний используется для получения минеральных удобрений.

Богатые руды (с содержанием Fe более 57 %, кремнезема менее 5 %, серы и фосфора менее 0,15 %) идут на получение стали в мартеновском или конверторном производстве. Наиболее богатые железные руды (Fe более 68 %) используются для получения металлизированных окатышей, которые затем перерабатываются в сталь электроплавкой.

Руды, требующие обогащения, подразделяют на легко- и труднообогатимые, что зависит от их минерального состава и текстурно-структурных особенностей, характера содержащихся нерудных минералов и физико-механических свойств [40].

Основным методом обогащения магнетитовых руд является сухая и мокрая магнитная сепарация. При наличии в рудах гематита используют магнитно-флотационный (для тонковкрапленных руд) и магнитно-гравитационный (для крупновкрапленных руд) способы. Если руды содержат сульфиды (Cu, Zn и др.), то для их извлечения задействуют приемы флотации отходов магнитной сепарации. Обогащение окисленных железистых кварцитов может производиться магнитным способом (в сильном поле), а также обжиг-магнитным и флотационным. Гидрогетит-лептохлоритовые оолитовые бурые железняки обогащаются гравитационным способом либо гравитационно-магнитным, обжиг-магнитным.

Товарной продукцией горно-обогатительных предприятий являются концентраты, агломерат, окатыши. При мокрой магнитной сепарации содержание железа в концентрате обычно достигает 60-66 %, в гравитационно-магнитном – 46-49 %.

Железные руды содержат *попутные элементы*. Если эти компоненты образуют самостоятельные минеральные формы (минералы Ti, Cu, Co, Au, МПГ, апатита, редких земель), то они могут быть извлечены в самостоятельный концентрат. Так, из хвостов магнитного обогащения освоены технологии получения апатитового, ильменитового и медного концентратов. В других случаях попутные

компоненты представлены изоморфными или сорбционными примесями. Ценность примесей определяется их содержанием в руде. Некоторые элементы (Ni, Co, Mn) являются природнолегирующими, переходя из чугуна в сталь. Примером являются руды Елизаветинского месторождения бурых железняков (г. Екатеринбург), связанного с корой выветривания ультраосновных пород.

В настоящее время в составе комплексных руд используют: ванадий – Гусевогорское месторождение (г. Качканар); цирконий (бадделеит) и фосфор (апатит) – Ковдорское месторождение; уран и скандий (Железные воды, Украина). На Соколовском и Сарбайском месторождениях (Казахстан) при обогащении скарново-магнетитовых руд выделяют магнетитовый, кобальт-пиритовый, медный и цинковый концентраты.

Частично используются породы вскрыши (глины, мел, кварциты, габбро и др.) на ряде месторождений: КМА, Криворожского бассейна, Качканарском, Первоуральском.

Массовая доля сопутствующих компонентов в перерабатываемых магнетитовых железных рудах составляет (в %) [26]:

- магнетит-кварцевые руды: германий –  $(3-30) \cdot 10^{-4}$ , золото –  $(4,0-25,0) \cdot 10^{-7}$ ;
- скарново-магнетитовые: кобальт – 0,01-0,10, медь – 0,1-0,3, золото –  $(0,1-1,2) \cdot 10^{-4}$ , бор – 1,0-5,0;
- апатит-магнетитовые: апатит – 1,0-17, бадделеит – 0,1-0,2;
- титаномагнетитовые: ванадий – 0,15-0,70, скандий –  $(8-14) \cdot 10^{-3}$ , платиноиды –  $(8-25) \cdot 10^{-7}$ .

### **2.1.2 Металлогенические эпохи накопления железа**

Накопление железа в объеме сформировавшихся отдельных геолого-промышленных типов месторождений происходило на длительном отрезке геологической истории Земли [14].

В архейско-раннепротерозойскую металлогеническую эпоху сформировались железорудные бассейны с широким развитием терригенно-хемогенных и вулканических железисто-кремнистых отложений. Позднее они были метаморфизованы в железистые кварциты. К этой группе отнесены уникальные и крупные месторождения железистых кварцитов и образованных по ним богатых мартит-гематитовых руд, в том числе: месторождения Канады (район Верхнего озера, Лабрадора), Бразилии (Минас-Жейрас и

др.), России (КМА), Украины (Кривой Рог), Индии (штаты Бихар и Орисса) и др. Ресурсы этих объектов составляют сотни миллиардов тонн и далеко превосходят таковые для всех остальных групп железорудных месторождений.

*Позднепротерозойская эпоха* характеризовалась накоплением гематитовых оолитовых руд в прибрежных и терригенно-карбонатных морских отложениях. К подобным объектам отнесены месторождения Ангаро-Питского бассейна в России, месторождение Клинтон в США, ряд объектов в Южной Африке и Северной Австралии.

Значительным объемом железоруднения отличается *палеозойская эпоха*. На этом отрезке геологической истории сформировались крупные титаномагнетитовые месторождения Урала, Южной Африки, а также скарново-магнетитовые месторождения Урала, Западной Сибири, Кустанайской области (Казахстан), ряда штатов США (Калифорния, Юта и др.).

В *мезозойскую и кайнозойскую эпохи* возникли железорудные месторождения в пределах осадочных бассейнов морского генезиса: Западно-Сибирского в России, Керченского на Украине, Аятского в Казахстане, Лотарингского во Франции. Помимо этого в континентальных условиях на молодых эпигерцинских платформах происходило образование осадочных месторождений аллювиально-озерного типа.

### **2.1.3. Промышленные типы месторождений**

Многообразие природных условий концентрации железа обусловило появление различных промышленных типов месторождений. Несмотря на то, что железорудные объекты известны почти во всех странах мира (а их общее количество приближается к тысяче), основная часть запасов руд (почти 60 %) сосредоточена в 64 крупных и уникальных месторождениях рудных районов и бассейнов 30 стран: КМА – Россия, Кривой Рог – Украина, район Сингхбум – Индия, бассейн Каражас – Бразилия, район Кируна-ваара – Швеция, Лотарингский бассейн – Франция и др.

Основное промышленное значение имеют [26]:

1) месторождения железистых кварцитов докембрийских железисто-кремнистых формаций (52,9 % балансовых промышленных запасов и 63,3 % добычи);

2) месторождения богатых железных руд, связанных с корой выветривания железистых кварцитов железисто-кремнистых формаций (10,9 % запасов и 7,3 % добычи);

3) месторождения магнетитовых руд скарново-магнетитовой формации в осадочных и вулканогенно-осадочных породах (15 % запасов и 14,8 % добычи);

4) месторождения титаномагнетитовых и апатит-магнетитовых руд в ультраосновных и основных породах (8,1 % запасов и 11,3 % добычи);

5) месторождения сидеритов и бурых железняков как осадочных, так и связанных с корами выветривания сидеритов и ультраосновных пород (6,8 % запасов и 3,3 % добычи).

Второстепенную роль и ограниченное значение имеют месторождения иных геолого-промышленных типов: оолитовые лептохлоритовые и гидрогетитовые в осадочных породах, магномагнетитовые в осадочных и пирокластических породах и траппах, морские россыпи.

Ежегодное производство товарных железных руд в мире превышает 1 млрд т. В недрах 95 стран общие запасы железных руд оцениваются в 300 млрд т. Наибольшими запасами обладают Россия, Австралия, Китай, Бразилия, Украина, США (от 15 до 50 млрд т). Добыча осуществляется в 55 странах. По уровню запасов месторождения железных руд подразделяют (млн т): на мелкие – до 50, средние – 50-300, крупные – 300-1000, весьма крупные – 1000-3000, уникальные – более 3000.

#### ***2.1.4. Поисковые работы***

Поисковые работы всегда ориентированы на определенные геолого-промышленные типы месторождений. Прогнозная оценка и поиски базируются на анализе прогнозно-металлогенических карт железорудных районов различного масштаба (1:200000-1:50000). При составлении этих карт учитывают: приуроченность железорудных месторождений к определенным эпохам железнакопления, особенности их генезиса, результаты выполненных геофизических исследований. Геологическая позиция прогнозируемого оруденения определяется по совокупности выявленных рудоконтролирующих факторов (критериев) и поисковых признаков. Для некоторых промышленных типов железорудных месторождений (желези-

стых кварцитов, скарново-магнетитовых руд) важнейшие рудоконтролирующие факторы отражены в табл. 2.

Магнетитовый состав и в большинстве случаев высокая плотность железных руд способствуют эффективному использованию магнитометрической и гравиметрической съемок при поисках и оценке месторождений. Использование геофизических методов при поисках и разведке месторождений железных руд обусловлено контрастностью большинства их физических свойств относительно вмещающих пород, приводящей к возникновению в местах локализации железоруденения характерных аномалий различных физических полей. Количественная интерпретация геофизических данных позволяет уточнить мощность выходов рудных залежей под рыхлыми отложениями, угол падения пород, глубины залегания пород субстрата и т. д.

По условиям ведения поисков и сложности геолого-поисковой обстановки территории развития железных руд подразделяют на ряд групп [26]:

I тип – *открытые рудоносные площади* с маломощным аллювиально-делювиальным покровом (до 20 м);

II тип – *полузакрытые рудоносные площади*; рудные тела перекрыты более поздними геологическими комплексами мощностью от 20 до 150 м или находятся во вмещающих породах на глубинах в первые сотни метров;

III тип – *закрытые (погребенные) рудоносные площади*; рудные тела перекрыты фанерозойскими отложениями значительной мощности (более 150 м) или находятся во вмещающих породах на больших (до 500 м) глубинах;

IV тип – *площади чередования II и III типов.*

В пределах железорудных провинций может быть выделено несколько типов геолого-поисковых обстановок. Исходя из этого в прогнозно-поисковый комплекс (ППК) могут быть включены *различные методы*: геологическая съемка и глубинное геологическое картирование, дешифрирование космо- и аэрофотоснимков, геофизические методы (включая аэромагнитную съемку), шлихо-минера-

**Рудоконтролирующие факторы, критерии и поисковые признаки  
некоторых ведущих типов железорудных месторождений России**  
(Минеральное сырье, 1997; с упрощением)

Ведущие рудоконтролирующие факторы, признаки	Железистые кварциты		Скарново-магнетитовые руды (тагильский тип)
	лебединский тип	белгородский тип (богатые руды кор выветривания)	
<b>Критерии</b>			
Стратиграфический	Ранний протерозой (курская серия)	Фанерозой (курская, оскольская серии)	Нижний-верхний палеозой (тагило-кушвинская серия)
Геолого-формационный	Метаморфизованная хемогенно-осадочная железисто-кремнисто-сланцевая толща	Коры выветривания железистых кварцитов	Ассоциация карбонатно-терригенной и андезит-базальтовой формаций
Структурно-тектонический	Складчатые зоны линейного типа, крылья и замки крупных синклинальных структур	Сложноскладчатые поля, ядра крупных структур, зоны разломов на участках развития железистых кварцитов	Разрывно-складчатые и эксплозивные структуры в ореоле рудно-магматических систем
Метаморфический (фаиии регионального метаморфизма)	Зеленосланцевая, эпидот-амфиболитовая, контактовый метаморфизм	—	—
Магматический	Послойные ультраосновные образования (карбонат-биотитовые породы), пострудные дайки (основного, среднего, кислого состава)	—	Интрузии диорит-сиенитов осадочно-вулканических пород; дорудные дайки долеритов, габбро-долеритов

Ведущие рудоконтролирующие факторы, признаки	Железистые кварциты		Скарново-магнетитовые руды (тагильский тип)
	лебединский тип	белгородский тип (богатые руды кор выветривания)	
Фациально-литологический	Переслаивание кварцитов со сланцами, филлитами, алевролитами	Окисленные и выветрелые железисто-кремнисто-сланцевые породы	Чередование пачек туфов, туффитов, лав и известняков; преобладание известковистых туфов
<b>Признаки</b>			
Минералогические:			
а) первичные руды	Главный минерал – магнетит; второстепенные – гематит, сидерит, сульфиды, актинолит, амфиболы, эгирин и др.	Главные минералы – мартит, гематит, гетит, гидрогетит; второстепенные – магнетит, сидерит, пирит, марказит	Главный минерал – магнетит; второстепенные – пирит, халькопирит, пироксен, скаполит, гранат, эпидот, хлорит и др.
б) ореолы рассеяния	Валуны и обломки магнетита и сопутствующих минералов	Валуны и обломки мартита и сопутствующих минералов	Валуны и обломки магнетита, мартита с формированием «валунчатых руд» (россыпей делювиального типа)
Геофизические:			
а) локальные признаки магнитных и гравиметровых аномалий. Интенсивность: $\Delta T$ ( $\Delta Z$ ), тыс. нТл $\Delta g$ , мГл площадь, км <sup>2</sup> форма	30-170 3,5-9 2,5-15 Линейная, редко изометрическая	10-80 4-9 3,5-5 От лентовидной, эллипсоидно-	3-50 и более 0,5-4 и более 0,4-8 Изменчивая (от простой

Ведущие рудоконтролирующие факторы, признаки	Железистые кварциты		Скарново-магнетитовые руды (тагильский тип)
	лебединский тип	белгородский тип (богатые руды кор выветривания)	
		вытянутой до изометричной	субизометричной до замысловато-усложненной)
б) картина гравимагнитных полей над рудными полями месторождений	Мощные по размерам и интенсивности; протяженные линейные зоны аномалий на фоне слабозамощенных региональных составляющих	Аналогичны полям лебединского типа, но с пониженным в 2-3 раза уровнем интенсивности полей	Сложные по морфоструктуре аномальные поля; отличаются высокой степенью дифференциации по форме и амплитуде за счет развитых здесь метасоматитов и рудных зон

логическая съемка, геохимические методы (по вторичным и первичным ореолам), горно-буровые работы, лабораторные исследования руд и пород. Рассмотрим некоторые примеры.

Геологическая позиция оцениваемых месторождений нередко находит отчетливое отражение в структуре магнитных полей. Известные крупные месторождения Главной железорудной полосы Тургая фиксируются аномалиями высокой интенсивности. Сарбайскому месторождению соответствует (по Н. Г. Шмидту) протяженная аномалия с четырьмя эпицентрами. Интенсивность аномалии с юга на север увеличивается от 7 до 23 тыс. нТл (рис. 1). Гравитационное поле Главной железорудной полосы по структуре несколько проще магнитного. Все известные магнетитовые и магнетит-мартитовые месторождения сопровождаются в гравитационном поле локальными максимумами силы тяжести [36].

На примере Тейского железорудного месторождения (Алтае-Саянская область) можно наблюдать, что рудному полю соответствует магнитная аномалия интенсивностью в десятки тысяч гамм (рис. 2). Рудные тела различной формы (пластообразной, линзовид-

ной) часто объединяются, вызывая общую контрастную магнитную аномалию на фоне спокойного поля, соответствующего осадочным и изверженным породам [28].

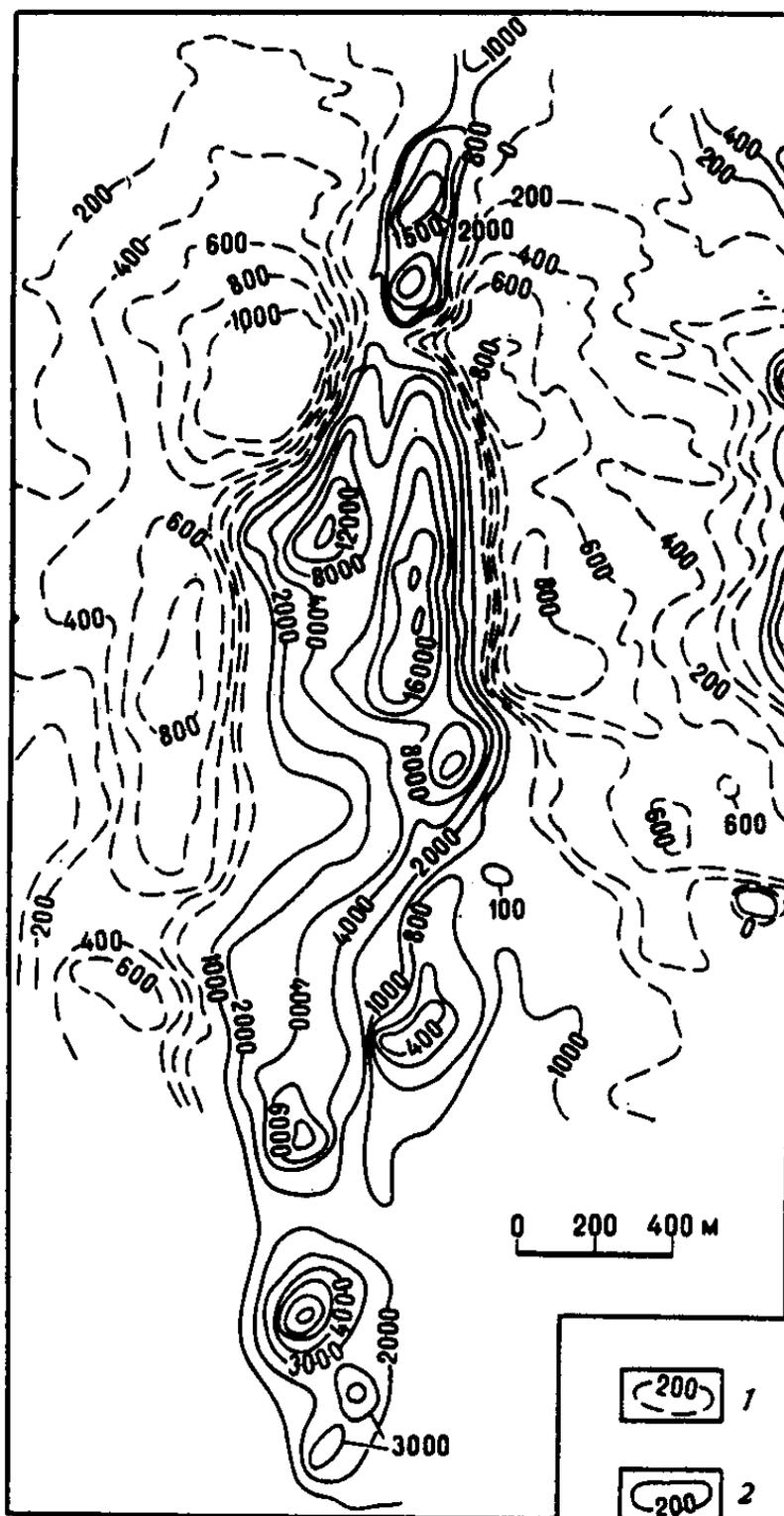


Рис. 1. Магнитный план Сарбайского месторождения (по Н. Г. Шмидту):  
1 – отрицательные значения магнитного поля, нТл; 2 – то же, положительные

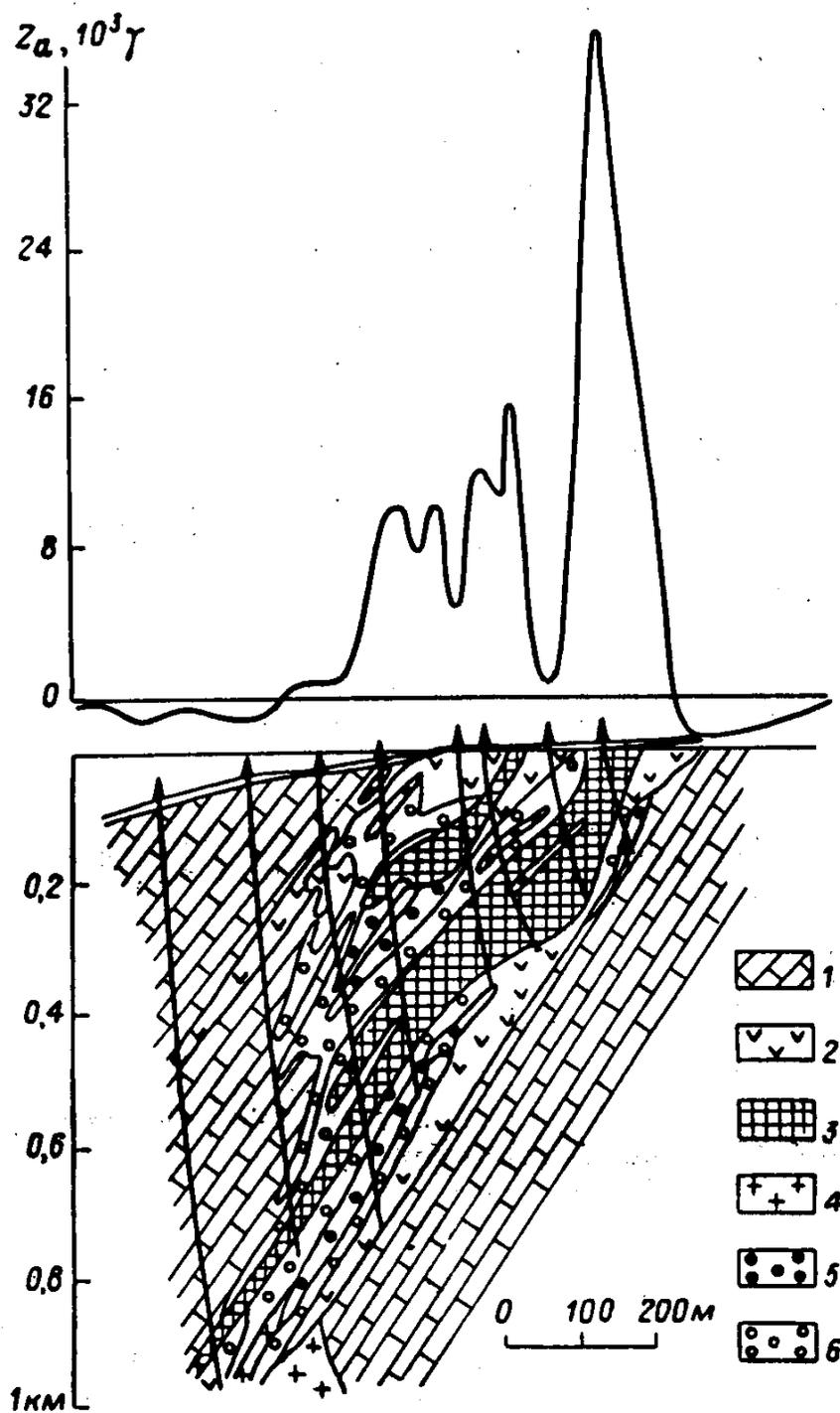


Рис 2. Геологический разрез Тейского железорудного месторождения (по Б. Д. Микову):

- 1 – известняки; 2 – трахиты; 3 – магнетитовая руда;
- 4 – плагиограниты; 5 – скарны рудные; 6 – скарны безрудные

Интерпретация сложных по строению магнитных полей от нескольких залежей может быть использована для выявления глубокозалегающих рудных тел. В этом случае рассчитывается теоретическое поле для его сравнения с фактическим наблюдением. В слу-

чае значительного расхождения интерпретация разностного поля может помочь выявлению нескрытых залежей (рис. 3) [36].

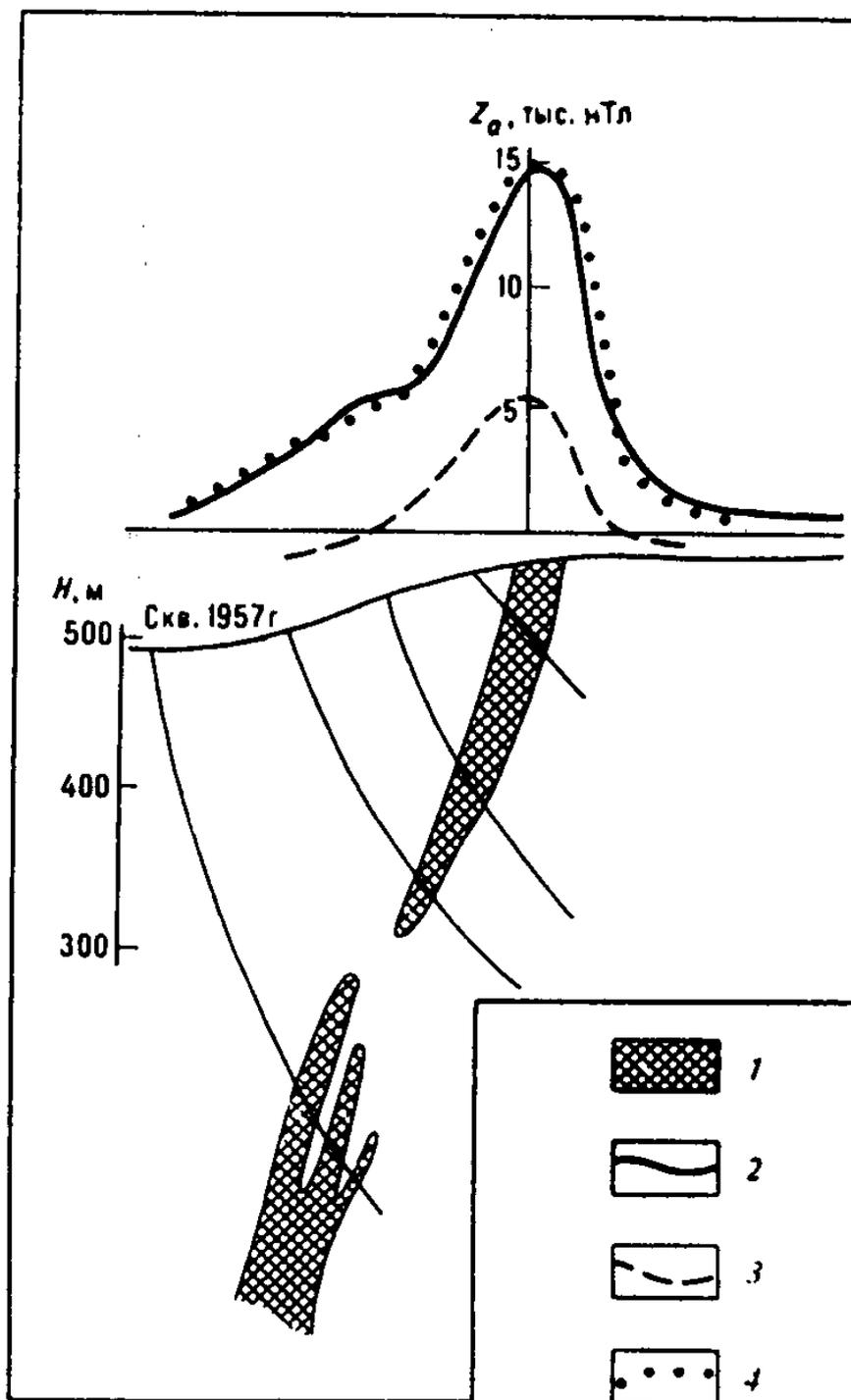


Рис. 3. Результаты интерпретации данных магнитной съемки на месторождении Одинокое (Восточный Саян)  
(по Б. И. Терехову):

1 – руда; 2 – наблюдаемая кривая  $Z_a$ ; 3 – теоретическая кривая  $Z_a$  от рудного тела; 4 – теоретическая кривая  $Z_a$ , полученная подбором (с учетом рудного тела на глубине)

Большую роль при поисках и, особенно, при разведке месторождений играют *геофизические исследования скважин* (ГИС). В основной комплекс ГИС входят методы скважинной магниторазведки (СМ,  $\Delta Z$ , ТСМ) и различные виды каротажа: гамма-каротаж (ГК), каротаж сопротивлений (КС), каротаж поляризации (КП), гамма-гамма-каротаж плотности (ГГК-П), селективный гамма-гамма-каротаж (ГГК-С), каротаж магнитной восприимчивости (КМВ), электромагнитный каротаж (ЭМК), спектрометрический нейтронный гамма-каротаж (СНГК) и др.

При отсутствии на ранних стадиях изучения прямых данных опробования качество прогнозируемых железных руд определяется либо по аналогии, либо рассчитывается по геофизическим материалам. В основе прогнозирования качества руд по геофизическим данным лежат корреляционные зависимости: между магнитной восприимчивостью руд и содержанием в них железа магнетитового (коэффициент корреляции 0,30-0,80), между плотностями железных руд и содержанием в них железа общего (коэффициент корреляции 0,83-0,95). Поэтому на объектах магнетитовых руд используют в основном магнитные и электромагнитные методы геофизического опробования (КВМ, ЭМК); на объектах смешанного или немагнитного состава – ядерно-физические методы, нацеленные на определение плотности пород и содержания железа общего (ГГК-П, ГГК-С, СНГК, рентгенорадиометрический метод).

### ***2.1.5. Разведка железорудных месторождений***

По размерам и форме рудных тел, колебанию их мощности, изменению характера строения и качества руд месторождения железных руд (или участки крупных месторождений) подразделяют на три группы. При отнесении месторождений к той или иной группе по степени сложности геологического строения основных рудных тел могут использоваться количественные характеристики изменчивости основных свойств (параметров) месторождения [18].

*1-я группа* – месторождения (участки) простого геологического строения с рудными телами, представленными горизонтальными или пологозалегающими пластовыми залежами с устойчивой мощностью и качеством руд. Примеры: месторождения Керченского бассейна (Украина), Лисаковское и Аятское месторождения (Казахстан).

2-я группа – месторождения (участки) сложного геологического строения с рудными телами, представленными: а) крупными сложноскладчатыми или линзообразными залежами относительно сложного строения с выдержанным качеством руд (например: месторождения железистых кварцитов богатых руд КМА, Криворожского бассейна, а также Оленегорское, Костомукшское и др.); б) крупными и средними по размерам телами различной формы (линзо-, штоко-, столбо- и трубообразными телами) сложного строения с невыдержанным качеством руд (например: титаномагнетитовые руды Гусевогорского и Качканарского месторождений; Ковдорское месторождение апатит-магнетитовых руд; скарново-магнетитовые месторождения – Соколовское, Сарбайское, Гороблагодатское, Высокогорское, Естюнинское и др.).

3-я группа – месторождения (участки) очень сложного геологического строения с рудами, представленными мелкими и средними по размерам телами линзообразной, жило- и столбообразной форм с резко меняющейся мощностью и качеством руд (например: месторождения Орско-Халиловской группы, Куржункульское, Сорское и другие, мелкие залежи богатых руд Криворожского бассейна).

В качестве основных показателей сложности геологического строения рудных тел [18] предлагается задействовать ряд количественных показателей.

*Коэффициент рудоносности* ( $K_p$ ) выражается через отношение линейных величин – длины рудных интервалов по скважинам к общей длине пересечения в пределах продуктивной зоны:  $K_p = l_p/l_o$ .

*Показатель сложности* ( $q$ ) рассчитывается по отношению числа рудных пересечений ( $N_p$ ) к сумме всех разведочных пересечений (рудных –  $N_p$ , безрудных –  $N_o$ , законтурных –  $N_3$ ):

$$q = \frac{N_p}{N_p + N_o + N_3}.$$

*Коэффициент вариации* мощности ( $V_m$ ) и содержаний ( $V_c$ ) подсчитывается (%) общеизвестным способом по сумме разведочных данных:

$$V_m = \frac{S_m}{m_{cp}} \cdot 100; \quad V_c = \frac{S_c}{C_{cp}} \cdot 100,$$

где  $S_m$  и  $S_c$  – среднеквадратичные отклонения для мощности и содержания от их среднеарифметических значений  $m_{cp}$  и  $C_{cp}$ .

Предполагаемые характеристики изменчивости оруденения приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Количественные характеристики изменчивости основных свойств оруденения**

Группа месторождений	Показатели изменчивости объектов разведки			
	формы			содержания
	$K_p$	$q$	$V_m, \%$	$V_c, \%$
1	0,9-1,0	0,8-0,9	< 40	< 40
2	0,7-0,9	0,6-0,8	40-100	40-400
3	0,4-0,7	0,4-0,6	100-150	100-150
4	< 0,4	< 0,4	< 150	< 150

*Основные положения методики разведки железорудных месторождений* сводятся к следующему [6, 18, 40].

Площадь разведываемого месторождения должна быть обеспечена топографическими картами и планами М 1:1000-1:10000. Все разведочные и эксплуатационные выработки, профили геофизических наблюдений, естественные обнажения рудных тел необходимо инструментально привязать. Подземные горные выработки наносятся на планы по данным маркшейдерской съемки. Для скважин вычисляются координаты точек пересечения ими кровли и подошвы рудного тела, отстраиваются проложения их стволов на плоскости планов и разрезов.

По району месторождения необходимы геологическая карта и карта размещения полезных ископаемых М 1:25000-1:50000 (1:200000) с соответствующими разрезами. На этих картах, а также других графических материалах должны быть отражены рудоконтролирующие структуры и рудовмещающие комплексы пород, известные месторождения и рудопроявления, выделены участки с оцененными прогнозными ресурсами.

Геологическое строение месторождения отображается на геологической карте М:1000-10000. Приведенные на карте и прилагаемых разрезах геологические, геофизические и геохимические материалы должны давать представление о размерах, форме рудных тел, условиях залегания, их внутреннем строении, размещении разных типов руд и соотношений с вмещающими породами. Необходимо обоснование геологических границ месторождения.

Выходы и приповерхностные части рудных тел должны быть изучены горными выработками и мелкими скважинами с применением геофизических и геохимических методов, а также опробованы. Отмеченное позволяет выявить условия залегания рудных тел, глубину и строение зоны окисления, вещественный состав и технологические свойства руд (первичных, смешанных, окисленных).

Разведка железорудных месторождений на глубину проводится в основном скважинами с максимальным использованием наземных и скважинных геофизических методов. На месторождениях очень сложного строения, не подлежащих однозначной расшифровке по данным бурения (а также для контроля качества буровых и геофизических работ), следует проходить на представительных участках подземные горные выработки.

По скважинам колонкового бурения должен быть получен максимальный выход керна хорошей сохранности. Выход керна должен быть не менее 70 % по каждому рейсу проходки. При недостаточном выходе по руде материал может быть отобран конусным пробоотборником (расширителем). Представительность керна для определения мощности рудных интервалов должна быть подтверждена возможностями избирательного истирания руд. Для этого необходимо привлекать данные по изучению их физико-механических свойств.

Методы геофизических исследований используются во всех пройденных скважинах. Для магнетитовых руд необходимо проведение каротажа магнитной восприимчивости (КМВ), для немагнитных руд – ядерно-геофизических методов, для слабомагнитных – комплекса электромагнитных и ядерно-геофизических методов.

В вертикальных скважинах глубиной более 200 м и во всех наклонных выработках через 50 м должны быть определены азимутальные и зенитные углы стволов. Эти данные необходимо учитывать при построении геологических разрезов, погоризонтных планов, расчете мощностей рудных интервалов. При пересечении крутопадающих рудных тел под большими углами целесообразно искусственное искривление скважин. Для повышения эффективности разведки рекомендуется проходка многозабойных скважин.

Расположение разведочных выработок, а также расстояния между ними должны быть определены для каждого структурно-морфологического типа руд с учетом их размеров, особенностей

строения, возможностей использования геофизических методов исследования для оконтуривания рудных тел и их увязки.

Обобщенные фактические данные о *плотности разведочной сети* могут использоваться при проектировании геологоразведочных работ [18], но их не следует рассматривать как обязательные (табл. 4).

Таблица 4

**Параметры разведочной сети на месторождениях железных руд**  
(Методические указания..., 2007, с упрощением)

Группа сложности	Структурно-морфологический тип рудных залежей	Вид выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел, м					
			A		B		C <sub>1</sub>	
			по простиранию	по падению	по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
I	Крупные горизонтальные или пологозалегающие залежи с устойчивой мощностью и качеством руд	Скважины	200	200	400	400	800	800
II	Крупные сложно-складчатые пластовые, пласто- или линзообразные залежи относительно сложного строения с выдержанным качеством руд	Скважины	–	–	100-300	100-200	400-600	200-400
	Крупные и средние линзо-, штоко-, столбо- и трубообразные залежи сложного строения с невыдержанным качеством руд	Скважины	–	–	75-150	50-100	150-300	100-800
III	Средние и мелкие линзо-, жило- и столбообразные залежи сложной формы с резко меняющимися мощностями и качеством руд	Скважины	–	–	–	–	50-100	50-100

Для каждого конкретного месторождения необходим анализ геолого-геофизических и эксплуатационных материалов, позволя-

ющий обосновать рациональную геометрию и плотность разведочной сети.

Все рудные интервалы, вскрытые разведочными выработками, подлежат *опробованию*. Сеть опробования должна быть выдержанной. Производится опробование непрерывно на всю мощность рудного тела с выходом во вмещающие породы. Природные разновидности руд и минерализованных пород должны опробоваться раздельно (секциями).

Пробы по керну отбираются путем его раскалывания (распиловки) вдоль оси на две части. Точность керна опробования следует контролировать отбором проб из вторых половинок. Практикой разведочных работ установлено, что длину одной керна пробы целесообразно принимать не более 1-2 м. Это позволяет установить по данным опробования особенности строения рудных тел, состав и характер локализации промышленно ценных компонентов.

Опробование горных выработок производится бороздами прямоугольного сечения размером 5×10 см. На месторождениях железистых кварцитов, титаномагнетитовых и сидеритовых руд (где проявлено минимальное выборочное выкрашивание) целесообразно опробование бороздами меньшего сечения, а также применение точечно-пунктирного и точечного способов.

В качестве рядового может применяться *геофизическое опробование* (магнитное, ядерно-геофизическое). Достоверность определения содержаний по каротажу подтверждается сопоставлением данных по опорным скважинам с результатами опробования обычным методом, где отмечен высокий выход керна (выше 90 %).

Объем контрольного опробования должен быть достаточным для статистической обработки результатов и обоснования выводов об отсутствии или наличии систематических ошибок. Обработка проб производится по схемам, разработанным для каждого месторождения. Основные и контрольные пробы обрабатываются по одной схеме. Качество обработки проб должно систематически контролироваться по всем операциям.

Рассмотрим пример.

На Высокогорском месторождении скарново-магнетитовых руд важную роль при разведке отводят каротажу магнитной восприимчивости (КМВ). Кроме того, применяется магнитометрическое опробование горных выработок. При этом используется аппа-

ратура типа: метод КМВ – Каппа-1, ТСМК-30, РИМВ-1, РИМВ-2. Два последних упомянутых прибора могут быть задействованы при магнитометрическом опробовании горных выработок.

Опробование скважин методом КМВ осуществляется путем непрерывной записи показаний прибора на самописец. На диаграммах выделяются однородные по высоте записи интервала, границы между которыми проводятся по высоте полумаксимума. Определение содержания железа общего и железа магнетитового ведется с помощью уравнений регрессии, рассчитанных на основе корреляционных зависимостей между содержанием железа (установленном по результатам химанализа керновых проб) и магнитной восприимчивостью (определенной по результатам КМВ).

Данные КМВ могут быть использованы для выделения рудных интервалов, если: систематические расхождения между данными каротажа и результатами документации скважин не значимы (при 0,05 уровне значимости); среднеквадратические расхождения мощностей рудных интервалов не превышает  $\pm 2\%$  при мощности более 20 м и  $\pm 5\%$  при мощности до 20 м.

*Химический состав руд* должен изучаться с полнотой, обеспечивающей достоверную оценку их качества, выявление вредных и ценных попутных компонентов. Содержание их в руде устанавливается различными методами: химическим, магнитным, ядерно-физическим, спектральным и др.

Рядовые пробы руд, не требующие обогащения, анализируются на железо общее, а также компоненты, определение которых предусматривается техническими условиями для товарных руд. В рядовых пробах обогащаемых руд определяются: железо общее (в том числе связанное с магнетитом), а также главные полезные попутные компоненты, имеющие промышленную значимость (P и Zr – в апатит-магнетитовых рудах; V – в титаномагнетитовых, Cu и Co – в скарново-магнетитовых). Определяются вредные примеси, связанные с минералами, попадающими в железорудный концентрат (сера общая, сульфатная, примесь цинка в магнетите, титан в титаномагнетитовых рудах и т. д.). В групповых пробах определяются FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – для установления границы окисленных и первичных руд, а также все ценные попутные компоненты (Zn, Pb, Cu, Au, Pt, Ge и др.). Групповые пробы должны характеризовать все природные разновидности руд, их технологические типы и сорта.

Качество анализов проб необходимо систематически проверять, а результаты контроля своевременно обрабатывать. Для определения величины *случайных погрешностей* проводится *внутренний контроль* путем анализа зашифрованных проб, отобранных из дубликатов аналитических проб в той же лаборатории, где выполнялись основные анализы. Для выявления и оценки возможных *систематических погрешностей* осуществляется *внешний контроль* в контрольной лаборатории. В этом случае направляются дубликаты аналитических проб, прошедших внутренний контроль. Пробы, направляемые на внутренний и внешний контроль, должны характеризовать все разновидности руд месторождения и классы содержаний, участвующих в подсчете запасов. При большом числе анализируемых проб (2000 и более в год) на контрольные анализы направляется 5 % от общего количества; при меньшем числе проб по каждому выделенному классу содержаний должно быть выполнено не менее 30 контрольных анализов за определенный период.

Минеральный состав руд, их физические свойства, текстурно-структурные особенности исследуются с применением минералогопетрографических, физических, химических и других видов анализов. Особое внимание уделяется минералам железа, определению их количества, взаимоотношениям их между собой и другими минералами, а также размерам зерен. В конечном счете, должно быть изучено распределение железа, попутных компонентов и вредных примесей, составлен баланс их по формам минеральных соединений.

В результате выполненных исследований устанавливаются природные разновидности руд. По результатам технологического изучения обосновываются промышленные (технологические) типы, требующие селективной добычи и отдельной переработки.

*Технологические свойства руд* изучаются в лабораторных и полупромышленных условиях на минералоготехнологических, малых технологических, лабораторных, укрупненно-лабораторных и полупромышленных пробах. Минералоготехнологическими и малыми технологическими пробами должны быть охарактеризованы все природные разновидности руд, выявленные на месторождении. По результатам их изучения проводится геологотехнологическая типизация руд месторождения, изучаются пространственная изменчивость вещественного состава, физико-механических и технологических свойств руд. Для руд, требующих обогащения, следует проводить геологотехнологическое картирование с составлением

*геолого-технологических карт, планов и разрезов.* На лабораторных и укрупненно-лабораторных пробах должны быть изучены технологические свойства всех выделенных промышленных типов руд в степени, необходимой для выбора оптимальной технологической схемы их переработки и определения показателей обогащения. Полупромышленные технологические пробы служат для проверки технологических схем и уточнения показателей обогащения.

*Гидрогеологическими исследованиями* должны быть изучены все водоносные горизонты, которые могут участвовать в обводнении месторождения. По каждому водоносному горизонту следует установить его мощность, литологический состав, типы коллекторов, взаимосвязь с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами. Также необходимо: изучить химический состав и бактериологическое состояние вод, оценить возможность использования этих вод для водоснабжения, исследовать влияние сброса рудничных вод на окружающую среду, оценить возможные источники хозяйственно-питьевого и технологического водоснабжения. Должны быть приведены рекомендации по способам осушения геологического массива, водоотводу, утилизации дренажных вод, а также по природоохранным мерам.

Проведение *инженерно-геологических исследований* при разведке месторождений необходимо для информационного обеспечения подготавливаемого проекта разработки (расчета параметров карьера, подземных горных выработок, паспортов буровзрывных работ и др.). При этих исследованиях должны быть изучены: физико-механические свойства руд, рудовмещающих пород и перекрывающих отложений; инженерно-геологические особенности массива, их анизотропия; трещиноватость и тектоническая нарушенность; закартированность, разрушенность в зоне выветривания и т. д. В результате инженерно-геологических исследований должны быть получены материалы по прогнозной оценке устойчивости пород в подземных горных выработках, бортах карьера.

*Экологическими исследованиями* должны быть установлены фоновые параметры состояния окружающей среды (уровень радиации, качество поверхностных и подземных вод, характеристика почвенного покрова и др.); определены виды химического и физического воздействия намечаемого к освоению объекта на окружающую среду (запыление, загрязнение поверхностных вод и почв), объемы изъятия природных ресурсов (лесных массивов и земель

для размещения отвалов); оценена опасность воздействия источников загрязнения; даны рекомендации по проведению природоохранных мероприятий.

*Подсчет запасов* производится в соответствии с требованиями [9]. Подсчитывают запасы в блоках, где запасы руды, как правило, не должны превышать годовую производительность будущего предприятия. Участки рудных тел, выделяемые в геологические блоки, должны характеризоваться: одинаковой степенью разведанности, однородностью геологического строения, выдержанностью условий залегания и приуроченностью к единому структурному элементу, общностью горнотехнических условий разработки. Запасы подсчитывают отдельно: по категориям разведанности, способам отработки (карьерными, штольневой отработкой, шахтами), промышленным (технологическим) типам и сортам руд, их экономическому значению (балансовые, забалансовые). Забалансовые (потенциально-экономические) запасы подсчитывают и учитывают в том случае, если в ТЭО кондиций доказана возможность их использования в будущем. Рациональное соотношение запасов различных категорий определяется недропользователем с учетом допустимого предпринимательского риска. На разрабатываемых месторождениях запасы подразделяют на вскрытые, подготовленные и готовые к выемке, а также находящиеся в охранных целиках.

В последние годы при подсчете запасов рудных месторождений находит применение *метод геостатистического моделирования*, позволяющий использовать *процедуру крайгинга* для исследования закономерностей распределения изучаемых признаков (концентраций, мощностей, линейных содержаний) и их оценки с определением амплитуды возможных ошибок [18].

Считается, что геостатистический метод дает наилучшие результаты по сравнению с другими методами, так как он обеспечивает минимальную дисперсию отклонений прогнозных значений параметров от фактических. Метод основан на геостатистической теории Ж. Матерона. Основополагающим в ней является понятие *крайгинга* (в другом прочтении – кригинга). Суть этого понятия сводится к тому, что значения параметра  $Z$  в ячейке зависят от значений его в ближайших разведочных выработках и от их взаимного расположения. Для того чтобы рассчитать простейший точечный крайгинг ( $Z = \sum p_i z_i$ ) в координатах  $x$  и  $y$ , нужно определить значения весовых коэффициентов ( $p_i$ ). Это достигается решением систе-

мы уравнений. При этом находят эмпирическую вариограмму  $Y(h)$ , определяемую как половина дисперсии разности между значениями параметра  $f(x)$  на расстоянии между выработками ( $h$ ).

Эффективность применения крайгинга обусловлена: количеством и качеством исходной разведочной информации; методологией моделирования, отвечающей индивидуальным геологическим особенностям строения месторождения (например, характеру анизотропии в изменении параметров, влиянию структурных границ). При использовании процедуры крайгинга плотность разведочных пересечений должна быть достаточной для обоснования оптимальных интерполяционных формул. Вычисление вариограмм производится на основе данных опробования по сквозным рудным пересечениям или составным пробам, длина которых согласуется с уступом карьера.

При построении *блочной статистической модели* месторождения максимально возможный размер элементарного подсчета блока выбирают исходя из планируемой технологии добычи, а минимальный определяется плотностью созданной на месторождении сети наблюдений (при этом не рекомендуется принимать размер сторон элементарного блока менее  $1/4$  средней плотности сети).

Считается, что геостатистический метод позволяет снизить ошибки оконтуривания рудных тел со сложной морфологией и внутренним строением. В то же время этот метод должен быть контролируемым в своем применении и тесно увязан с особенностями геологического строения месторождения. Поэтому результаты геостатистического моделирования всегда следует сравнивать с результатами традиционных методов подсчета запасов на представительных участках.

Главной задачей *эксплуатационной разведки*, проводимой на железорудных месторождениях, является получение данных по той части запасов, которая планируется к отработке в ближайшие 2-3 года. Указанная детализация заключается в уточнении: а) контуров промышленных запасов руд и безрудных участков; б) деталей строения месторождений, его структуры; в) средних содержаний железа и элементов-примесей в рудах эксплуатационных блоков. При подобной детализации производится перевод запасов из категорий  $B$  и  $C_1$  в категорию  $A$ .

Решение поставленных перед эксплуатационной разведкой задач основывается на максимальном использовании добычных работ

для познания особенностей строения месторождений, а также выяснения горнотехнических и гидрогеологических особенностей. В этой связи определяющее значение приобретает геологическая документация при производстве эксплуатационных работ. Важнейшим ее элементом является геологическое картирование по эксплуатационным горизонтам в масштабах 1:500-1000. Выявленные при этом на верхних горизонтах закономерности строения и размещения оруденения определяют направление эксплуатационной разведки на нижних горизонтах.

При *открытой отработке* для оперативного планирования количества и качества добываемых руд с рабочих горизонтов карьера используются данные опробования буровзрывных скважин (если их проходка опережает добычу на 1-2 месяца). Большое значение при этом приобретает каротаж скважин. Он помогает уточнить форму и пространственное положение рудных тел, а также их присутствие в межскважинном пространстве. Положение и густота выработок зависят от степени изученности месторождения и принятой системы разработки.

При *подземной отработке в процессе* эксплуатационной разведки должны быть выявлены детали формы рудных тел, характер распределения отдельных типов руд в пределах залежей, изменчивость состава руд по отдельным блокам.

На разрабатываемых месторождениях вскрытые, подготовленные и готовые к выемке запасы руд, а также находящиеся в охранных целиках горных выработок подсчитываются отдельно.

Важный вид работ – сопоставление данных разведки и эксплуатации по запасам, условиям залегания, морфологии и мощности, внутреннему строению, содержанию полезных компонентов. В подготавливаемых материалах должны быть проведены контуры утвержденных ГКЗ и погашенных запасов, площадей прироста запасов, сведения о запасах, числящихся на государственном балансе; представлены таблицы движения запасов и т. д.

На разведанных месторождениях качество и количество запасов, их технологические свойства, гидрогеологические, горнотехнические и экологические условия разработки должны быть изучены по скважинам и горным выработкам с полнотой, достаточной для разработки технико-экономического обоснования принятия решения о порядке и условиях их вовлечения в промышленное

освоение, а также проектирования строительства горнодобывающего предприятия.

## 2.2. Меднорудные месторождения

### 2.2.1. Медь, промышленное значение металла, требования к качеству сырья

*Медь* – металл, используемый человеком с глубокой древности. По уровню потребления медь занимает третье место (после железа и алюминия). Её свойства – высокая электро- и теплопроводность, коррозионная стойкость, хорошая обрабатываемость под давлением, способность образовывать востребованные промышленностью сплавы с Zn, Al, Sn, Ni, Fe, Mn и др. [19].

Медь принадлежит к халькофильной группе элементов. В большинстве промышленных месторождений она присутствует в *сульфидной форме*. Совместно с медью в сульфидных рудах обычно присутствует Fe, часто Mn, Ni, нередко Co, Re, платиноиды.

В поверхностной зоне *сульфиды меди неустойчивы*. При этом медь переходит в двухвалентное состояние (преимущественно в сульфатную форму). Соли двухвалентной меди легко мигрируют в водной среде в виде истинных и коллоидных растворов. Их подвижность зависит от кислотности среды, и при снижении кислотности подвижность уменьшается. Осадителями меди из растворов служат карбонатные породы, а также сульфиды (пирит, сфалерит и др.), органические соединения. На карбонатном барьере медь выделяется в виде труднорастворимых карбонатов (малахита, азурита); возможно также появление арсенидов, фосфатов, силикатов. Последние осаждаются из гелей.

При взаимодействии сульфата меди с сульфидами образуются *вторичные сульфиды* – халькопирит, ковеллин, реже борнит; ниже уровня грунтовых вод (в восстановительной среде) отмеченные минералы могут формировать *зону вторичного сульфидного обогащения*.

В природе известно около 200 минералов меди. Главными из них являются халькопирит ( $\text{CuFeS}_2$ ), борнит ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ ), халькозин ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), на долю которых приходится свыше 90 % мировых запасов и добычи меди. Подразделяются медные руды по качественной характеристике на весьма богатые с содержанием меди более 3 – 5 %,

богатые – более 2 %, среднего качества (рядовые) – более 1 %, бедные – от 0,7 до 1 % (для медно-порфировых руд – менее 0,2 %). По степени окисления руды подразделяют на сульфидные, смешанные и окисленные. Критерием при этом служит содержание меди в оксидной форме (%): для сульфидных руд – до 10, смешанных – 11-50, окисленных – более 50.

Медные руды обычно являются комплексными. В них, помимо минералов меди, обычно присутствуют минералы Fe, Zn, Pb, Mo, нередко As, Sb. Кроме того, медные руды содержат Au, Ag, Se, Te, которые извлекаются при переработке сырья. Руды отдельных промышленных типов месторождений в том или ином количестве содержат Re, Cd, Ge, In, Ga, Te, Co и др.

### ***2.2.2. Металлогенические эпохи накопления меди***

Формирование меднорудных и медьсодержащих объектов происходило на длительном отрезке геологической истории Земли [14]. К протерозойской эпохе отнесены месторождения медистых песчаников Центральной Африки и Сибирской платформы, сульфидные медно-никелевые месторождения Канадского типа и Южной Африки. На ранних стадиях формирования эвгеосинклиналей (обстановке островных дуг) возникли медноколчеданные месторождения Урала, Северного Кавказа. Позднее в связи с возникновением вулканоплутонических магматических ассоциаций образовались скарновые месторождения меди и железа. На орогенной (коллизийной) стадии формировались медно-порфировые и молибден-медно-порфировые месторождения в андезитово-вулканогенных, габбро-диорит-гранодиоритовых и иных плутогенных комплексах. В молассовых красноцветных осадочных и вулканогенно-осадочных комплексах пород были сформированы крупные месторождения медистых песчаников и сланцев (Джезказган). В мезозойскую эпоху в связи с расслоенными массивами основных и ультраосновных пород в пределах активизированных платформ возникли условия для формирования медно-никелевых месторождений (Норильск). В альпийскую металлогеническую эпоху (в позднем мелу – палеогене – позднем неогене) произошло формирование богатейших медно-порфировых месторождений меди в Чили, Перу, Мексике и других странах Западно-Тихоокеанского пояса.

### 2.2.3. Промышленные типы месторождений

Основу минерально-сырьевой базы меди составляют следующие промышленные типы месторождений [26]:

*медно-порфировый* – в структурах базальтоидных островных дуг; нередко месторождения этого типа характеризуются повышенной золотоносностью;

*молибден-медно-порфировый* – в андезитоидных вулканоплутонических поясах;

*медноколчеданный* – в базальтоидных формациях структур типа окраинно-континентальных рифтовых зон;

*медно-цинково-колчеданный* – в риолит-базальтовых формациях островных дуг;

*медистых песчаников и сланцев* – в красноцветных осадочных формациях орогенных и платформенных депрессионных структур;

*сульфидные медно-никелевые месторождения* – связанные с формациями мафит-ультрамафитового ряда и в поясах развития трапповой вулканоплутонической ассоциации.

Второстепенную роль в минерально-сырьевой базе меди имеют следующие типы месторождений: железо-медный ванадий-титансодержащий в габброидах (Волковское, Урал); медно-скарновый (Турьинские рудники, Гумешевское, Урал; Саякское, Казахстан); кварцево-жильный (Бьют, США) и др.

В мировой минерально-сырьевой базе доминируют медно-порфировые и молибден-медно-порфировые месторождения (57 % запасов меди). На месторождения медистых песчаников и сланцев приходится около 13 % запасов. Доля месторождений колчеданного семейства в мировых запасах оценивается в 7 %, а медно-никелевых – около 2 %.

По литературным данным, в мире известно более 1300 месторождений различных типов. В них заключено около 1,5 млрд т меди. При этом 10 % крупнейших месторождений в сумме содержат 84 % мировых запасов меди, а уникальные месторождения (на них приходится около 1%) несут в сумме более 25 % запасов меди. Наиболее крупными запасами владеют Чили, США, Китай, Польша, Перу, Канада, Заир, Австрия. Россия обладает около 15 % разведанных запасов, занимая 9-е место в мире. Запасы учтены на 134 месторождениях, из них 72 месторождения являются собственно

медными, а остальные – комплексными. Основные запасы меди размещены на Урале, в Западной Сибири, Прибайкалье.

По запасам месторождения подразделяют на категории (млн т меди): уникальные и весьма крупные – более 10, крупные – 3-10, средние – 0,5-3, мелкие – менее 0,5.

#### ***2.2.4. Прогнозно-поисковые и поисковые работы***

Применительно к особенностям Уральской меднорудной провинции остановимся на подходах, используемых в настоящее время при выполнении прогнозно-поисковых работ, нацеленных на выявление ведущих геолого-промышленных типов месторождений медных руд – медно-порфировых, молибден-медно-порфировых и медно-цинково-колчеданных [24].

В связи с исчерпанием фонда легкооткрываемых месторождений и ориентацией поисков на объекты «слепого» и «погребенного» типов необходимо при проведении работ опираться на *принципы формационного и рудно-формационного анализа*. Исходной предпосылкой прогнозирования в этом случае служит принцип геологической аналогии, используемый для определения качественных и количественных параметров прогнозируемых объектов. Научно-методической основой применения принципа геологической аналогии являются *прогнозно-поисковые модели (ППМ)*, разрабатываемые для разноранговых объектов прогноза и отвечающие отдельным прогнозно-металлогеническим таксонам: металлогеническим зонам – рудным районам – рудным полям – перспективным участкам (потенциальным месторождениям). Что же такое ППМ?

ППМ – это классификационные признаковые модели, состоящие из сопряженных и соподчиненных элементов рудоносного пространства, определяющие геологические обстановки и прогнозно-поисковые критерии, характеризующие наличие и степень проявления рудно-формационных процессов. Отмеченные сведения, отраженные в ППМ, позволяют выделять перспективные площади из общего геологического пространства.

Локализация разноранговых металлогенических таксонов, перспективных на выявление месторождений геолого-промышленных типов, производится на основе подготавливаемых прогнозно-поисковых комплексов (ППК). Они представляют собой сово-

купность факторов локализации оруденения, поисковых признаков и оптимальных методов выявления объектов прогноза и поисков.

#### *А. Месторождения медно-порфирового семейства*

Включают в себя собственно медно-порфировые и молибден-медно-порфировые объекты. Нередко представлены крупными скоплениями небогатых прожилково-вкрапленных руд, ассоциирующих с интрузивными породами порфировой структуры. Характеризуются штокверковой формой рудных тел, преимущественно крупными размерами, невысокими и относительно равномерно распределенными в пространстве концентрациями меди, наличием извлекаемых ценных попутных компонентов (Mo, Re, Au, Ag и др.). Во вскрытой части оруденелых пород нередко развита зона вторичного сульфидного обогащения с содержанием меди в 1,5-3 раза более высоким, чем в первичных рудах.

Месторождения медно-порфирового семейства располагаются в пределах *вулканоплутонических поясов* (ВПП) разных периодов формирования (в фанерозое с максимумом проявления в мезозое и кайнозое). Урало-Монгольский металлогенический пояс несет палеозойские медно-порфировые объекты. В него входят структуры восточного склона Урала и Зауралья, Казахстана, Тувы, Монголии, уходя на юго-восток в пределы Китая. Исследованиями А. И. Кривцова и ряда других геологов установлено, что металлогенический облик ВПП определяется первичной рудоносностью формаций основания, неоднократной регенерацией и мобилизацией рудного вещества процессами вулканоплутонизма с его выведением на верхние уровни систем.

В зависимости от особенностей формирования, ВПП можно подразделить на два типа [24]:

*базальтоидные*, образовавшиеся на океанической коре в завершающие стадии развития эвгеосинклиналей (подвижных поясов);

*андезитоидные*, формировавшиеся в орогенно-активизационном (коллизионном) режиме на флангах совозрастных геосинклинальных систем на коре континентального или переходного типов.

Месторождения медно-порфирового семейства характеризуются рядом отчетливо выраженных геологических признаков:

– связь в пространстве и во времени с порфировыми интрузивами гранитоидного состава; при этом к рудоносным фазам относятся кварцевые диориты с порфировой структурой, плагиогранит-порфиры, гранодиорит-порфиры;

– развитие руд в ареалах интенсивной трещиноватости с проявленной рудно-метасоматической зональностью;

– прожилково-вкрапленный и штокверковый характер минерализации с устойчивым набором основных рудных минералов (пирита, халькопирита, молибденита, магнетита, иногда борнита, халькозина, энаргита и др.);

– относительно низкие содержания меди (0,3-0,8 %) в первичных рудах и существенно более высокие (1-1,5 %) в зоне вторичного сульфидного обогащения при колебании концентраций молибдена в пределах от 0,005 до 0,05 %.

В зависимости от палеотектонической обстановки, семейство медно-порфировых месторождений подразделяют на ряд рудно-формационных типов: собственно медно-порфировые и золото-медно-порфировые, молибден-медно-порфировые, медно-молибден-порфировые и молибден-порфировые. Они различаются соотношением меди к молибдену и количеством рения в молибдените, уровнем золотоносности руд.

*Поисковые работы.* Практикой поисковых работ установлено, что месторождения медно-порфирового семейства являются составной частью *рудно-магматических систем* (РМС), обладающих комплексной металлогенией и по масштабу нередко соответствующих рудным районам. При этом собственно медно-порфировые руды занимают в объеме РМС центральную и порой самую глубинную часть. Принимая во внимание сложность выявления подобных объектов при поисках, необходимо учитывать степень эродированности пород РМС, общую расчлененность рельефа, мощность перекрывающих отложений. Это определяет возможность выявления и оконтуривания различных по глубине и рудоносности частей РМС: внешних (периферических), центральных (ядерных) и внутренних (рудоносных). Учитывая, что вертикальный размах РМС оценивается в 5-7 км, рудоносные части систем могут быть доступны лишь при благоприятном расположении эрозионного среза.

В ЦНИГРИ для целей крупномасштабного и локального прогноза характеризуемых месторождений разработаны прогнозно-поисковые модели (ППМ). Они включают в себя следующие геологические элементы (рис. 4).

*Породы интрузивной рамы* (рудовмещающие) представлены порфировидными продуктивными интрузивными комплексами, а также породами вулканогенно-осадочных и вулканогенных форма-

ций. В андезитоидных ВПП – породы диорит-гранодиоритовой, (габбро)-диорит-монцонитовой, гранодиорит-гранитовой формаций. В базальтоидных ВПП – породы габбро-диорит-кварцево-диоритовой, тоналит-гранодиорит-гранитовой формаций.

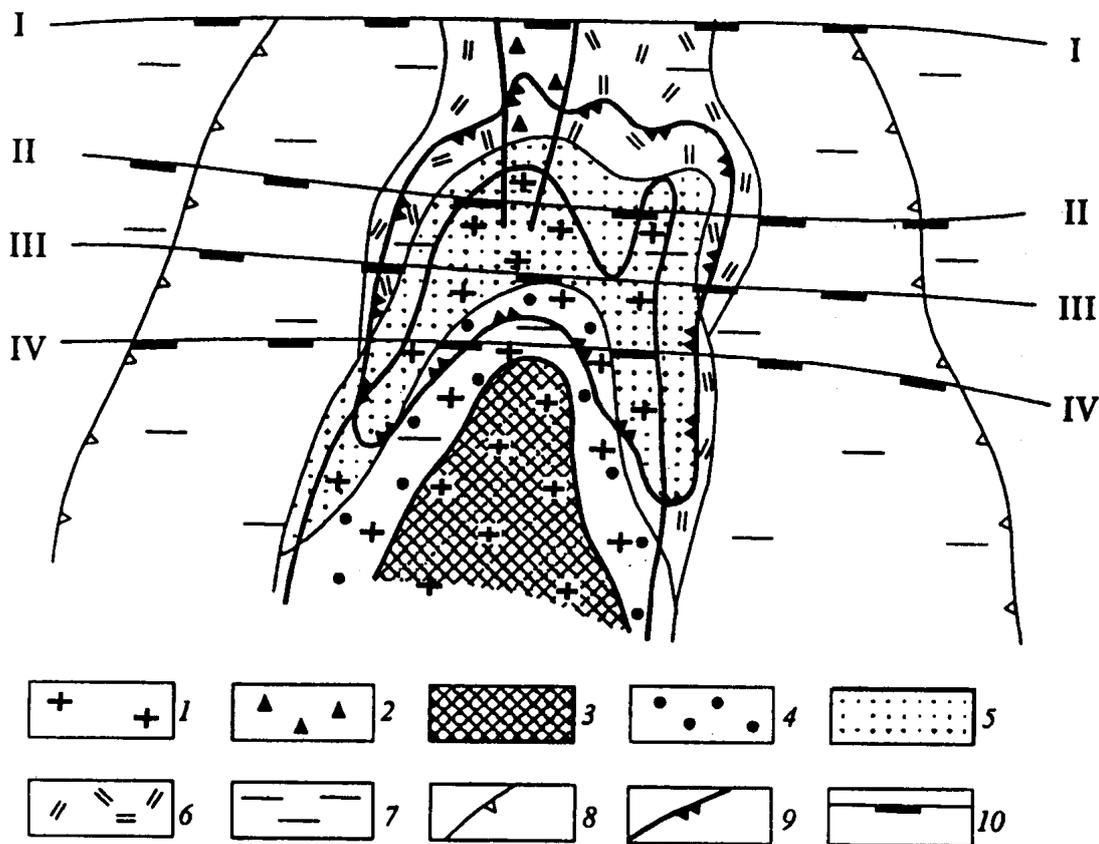


Рис. 4. Модель медно-порфирового месторождения (по А. И. Кривцову):

- 1 – рудоносный порфировый интрузив; 2 – брекчиевая трубка; 3 – кварцевое ядро;  
 4 – зона калишпатизации и биотитизации; 5 – зона окварцевания и серицитизации;  
 6 – зона аргиллизации; 7 – пропилитизированные породы интрузивной рамы;  
 8 – границы ореола интенсивной пиритизации; 9 – контуры промышленных руд;  
 10 – варианты положения эрозионного среза (I – IV)

*Рудоносный порфировидный интрузив* представляет стержневой элемент медно-порфировой системы. Это продуктивное интрузивное тело прорывает рудовмещающий комплекс, надстраивает его по вертикали. Представлен штоком кварцевыми диоритами, гранодиоритами, монцодиоритами, диоритами, тоналитами.

*Брекчиевые тела* прорывают рудоносные штоки и продолжают их по вертикали. Представлены трубообразными телами взрывных брекчий.

Важнейшим элементом объектов медно-порфирового семейства является наличие комплексных *рудно-метасоматических ореолов концентрически-зонального строения*. Обычно внешняя и периферическая части медно-порфировых систем представлены зоной аргиллизации, иногда алунитизации. На флангах развиты ореолы пиритовой минерализации. В этих же частях разреза могут присутствовать скарноиды. Центральная часть («кварцевое ядро») представлена кварцевыми и кварц-калишпат-биотитовыми метасоматитами. В рудоносной (внутренней) зоне развиты метасоматиты как калиево-кремнистого, так и кварц-серицит-хлоритового состава. При этом рудные тела могут быть оконтурены лишь по данным опробования, формируя штокверки изометричной, удлиненной и более сложной формы.

Таким образом, к *поисковым признакам* оруденения медно-порфирового типа следует отнести:

- поля развития порфировых фаз интрузивных комплексов определенной фомационной принадлежности;
- присутствие продуктивных (рудовмещающих) интрузивных комплексов, представленных кварцевыми диоритами, гранодиоритами, монцодиоритами, иногда сиенит-порфирами;
- наличие комплексных рудно-метасоматических ореолов зонального строения, сопровождаемых прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией на фоне ареалов распространения слабых гидротермальных изменений (обычно пропицитизированных) пород с убогой сульфидной минерализацией;
- присутствие в интрузив-надинтрузивной зоне трубообразных тел взрывных брекчий с сульфидной минерализацией;
- наличие комплексных высококонтрастных концентрических первичных и вторичных ореолов рассеяния элементов-индикаторов (Cu, Mo, Pb, Zn, Au, Ag);
- минералогические признаки: проявления энаргит-люционитовой минерализации в верхнерудно-надрудных частях медно-порфировых систем, минералов зоны окисления (лимонита, малахита, азурита); зоны пиритизации во фланговых частях рудных зон; шлиховые ореолы и потоки рассеяния мелкого и тонкого золота;
- геофизические признаки: отрицательные аэромагнитные аномалии ( $\Delta T$ ) на фоне повышенных значений окружающего геомагнитного поля; аномалии ВП, фиксирующие зоны максимального развития сульфидной минерализации.

К сказанному выше следует добавить, что магнитометрической съемкой могут быть выделены экзоконтактовые зоны интрузивных тел, сопровождающиеся ороговикованием и скарнированием пород интрузивной рамы, а также зоны развития магнетита во внутренних частях медно-порфировых систем [34]. Собственно рудоносные части совпадают с зонами серицитизации, окварцевания и аргиллизации. Они могут фиксироваться рядом аномалий – геофизических (вызванной поляризацией), геохимических (меди, молибдена и др.) (рис. 5).

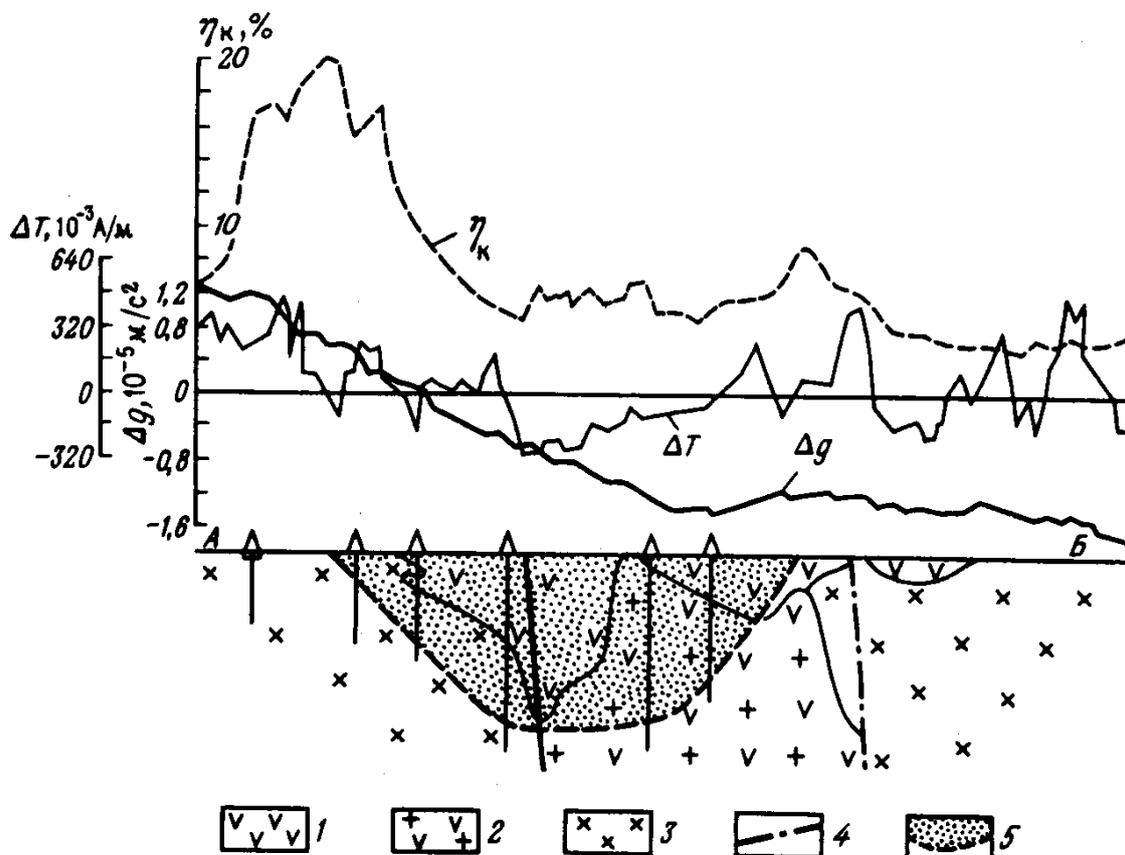


Рис. 5. Разрез через месторождение Хаймонт (Канада)  
(по М. Б. Бородаевской и др.):

- 1 – лавы, туфы андезидацитового состава ( $C_3 - P_1$ );
- 2 – малые интрузии гранодиорит-порфиров;
- 3 – кварцевые диориты и гранодиориты; 4 – разрывные нарушения;
- 5 – контур молибдено-медного оруденения

Отмеченные признаки рудоносности являются составной частью разработанного в ЦНИГРИ прогнозно-поискового комплекса [24, 39], в основу которого положена прогнозно-поисковая модель (ППМ). В этом комплексе отражены особенности предлагаемых

методов применительно к разноранговым объектам прогноза. Так, при обосновании в пределах выделенных металлогенических зон *позиции рудных районов* следует использовать данные ранее выполненных работ (геологосъемочных, геофизических, геохимических). Для выделения признаков рудоносности также предусматривается: дешифрирование аэро-космоматериалов (в том числе, оценка узлов пересечения кольцевых и линейных структур); данные аэрогамма спектроскопии; петрохимические и петрографические исследования типов пород; анализ данных геохимических и шлихоминералогических исследований; фациально-формационный анализ продуктивной и плутогенной формаций; комплекс геофизических исследований; металлогенический анализ и районирование; оценка прогнозных ресурсов категории  $P_3$ .

При выделении *рудных полей* в пределах рудных районов в состав применяемых методов следует включить: геологическое доизучение площадей (ГДП-50); глубинное геологическое картирование (ГГК-50); опережающие исследования – дистанционные и наземные геофизические и геохимические методы; горно-буровые методы; оценка прогнозных ресурсов категории  $P_2$ .

В случае обнаружения внешних либо центральных частей медно-порфировых систем в пределах выделенных *локальных участков* проводят собственно поисковые работы для обоснования границ рудоносных зон. При этом производится обобщение формационных, рудно-метасоматических, геохимических и геофизических характеристик околорудного пространства. Учитывая собранные материалы, определяют уровень эрозионного среза территории. Оцениваются прогнозные ресурсы категории  $P_1$  и  $P_2$ . Большую роль при поисках имеют геофизические методы, в их числе много-разносное комбинированное профилирование по методу ВП, а также вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) и метод срединного градиента (СГ), позволяющие определять распространенность сульфидсодержащих зон на глубину.

Перечисленные выше методы принадлежат к числу широко апробированных на практике. В то же время существуют и иные способы оценки перспектив территорий, эффективность которых доказана на отдельных объектах.

*Шлихо-геохимический метод* разработан В. Ф. Гуреевым и базируется на изучении выделяемых из шлихов пиритов и псевдоморфоз лимонита по пириту с анализом их кристалломорфных осо-

бенностей и определением содержаний элементов-примесей. Установлено, что от периферических частей медно-порфировых систем к их центрам происходит смена кубических форм вначале пентагон-додекаэдрическими, а затем октаэдрическими. Набор и уровень концентраций элементов-примесей в пиритах дают дополнительную информацию о глубине эрозионного вскрытия оруденения на базе данных о первичной геохимической зональности.

Собственно *шлиховой метод* (по данным Т. Ловеринга и др., США) также целесообразно включать в комплекс работ при поисках медно-порфирового оруденения. При этом исследуется содержание рудообразующих элементов и элементов-примесей во всех выделенных фракциях шлиха. Этот метод в современной транскрипции получил название *шлихо-геохимического*. По данным американских геологов, в магнитной фракции промытых шлихов нередко содержатся обломки оксидов железа и марганца, особенно обильных на участках эрозионного вскрытия. Повышенные концентрации элементов-примесей в магнитной фракции связаны с их поступлением из зоны окисления рудных тел. Высокие содержания марганца характерны для периферических частей зон медно-порфировой минерализации. Резкое преобладание железа над марганцем в магнитной фракции устанавливается в пределах пиритовых ореолов. В немагнитной фракции шлиха нередко высокие концентрации металлов, сопоставимые с уровнями их содержания во вскрытых при эрозионном срезе рудах.

При поисках меднорудной минерализации могут быть задействованы и другие методы (атмо-, гидрогеохимические, биогеохимические, термобарометрические и т. д.). Однако практически всегда используется устоявшееся сочетание методов: вызванной поляризации, наземной магнитометрии, литохимических методов по вторичным ореолам. Эффективное применение комплекса геофизических методов описано в работе [34] на примере Актогайского месторождения в Казахстане. Месторождение расположено в позднекаменноугольно-раннепермском вулканоплутоническом поясе. Рудовмещающий плутонический массив представлен кварцевыми диоритами, гранодиоритами, гранодиорит-порфирами. Оруденение контролируется штокообразными телами гранодиорит-порфиров и развито в виде кольцевой зоны (рис. 6). В центральной части месторождения находятся локально развитые эруптивные брекчии и кварцевые тела. Рудная минерализация присутствует в калишпати-

зированных, серицитизированных и ороговикованных породах при концентрически-зональном распределении содержаний меди. Морфологически рудное тело напоминает усеченный конус с коронообразным выклиниванием на глубине. При значительном эрозионном срезе оказался вскрытым комплекс элементов внутренних частей медно-порфировой системы, что определило благоприятные условия ведения поисков. Детализация аномалии, выявленной ВП, позволила оценить распространение оруденения на глубину. При проведении оценочных работ для определения наличия оруденения в межскважинном пространстве использовался метод ВП в модификации трехэлектродного профилирования и вертикального профиля. После проходки одиночных скважин с целью установления размеров минерализованных зон ставился метод глубинного заряда.

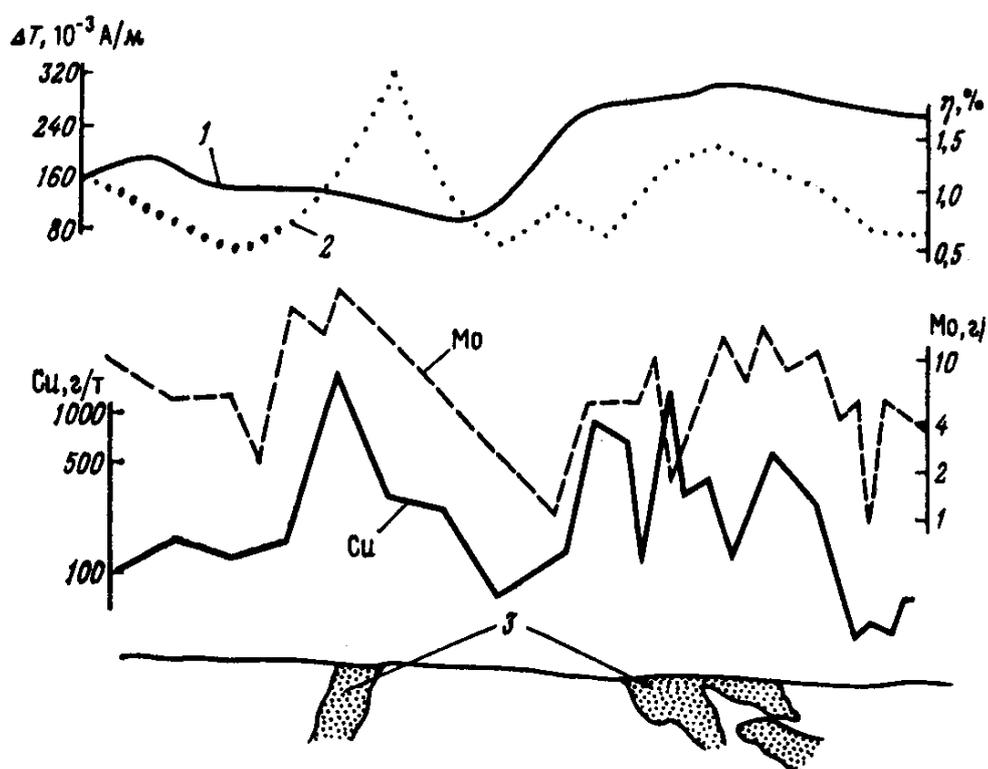


Рис. 6. Разрез месторождения Актогай (по В. П. Коняеву и др.):

1 – данные аэромагнитометрии;  
2 – результаты метода вызванной поляризации ( $\eta$ ); 3 – рудные тела

#### Б. Месторождения медноколчеданного и медно-цинково-колчеданного семейства

Эти месторождения имеют экзогенно-эндогенное происхождение. Рудоотложение происходило в связи с проявлением гидротермально-осадочных и гидротермально-метасоматических процес-

сов в глубинных субмаринных условиях [24, 39]. Эти процессы объединяют следующие геологические признаки:

- рудные объекты находятся в тесных пространственно-временных связях с определенными вулканогенными и вулканогенно-осадочными формациями;

- промышленные руды представлены скоплениями сульфидов Fe, Cu, Zn и Pb в разных их соотношениях. В рудах преобладают пирит, иногда пирротин и марказит. С ними ассоциируют халькопирит, сфалерит, галенит, блеклые руды, борнит;

- массивные руды сопровождаются вкрапленными и прожилково-вкрапленными разностями; они слагают тела пластовой, линзовидной, лентовидной форм;

- пластообразные тела залегают согласно с вмещающими породами и приурочены к определенным литолого-стратиграфическим уровням разреза рудоносных формаций;

- околорудные изменения вмещающих пород представлены хлоритизацией, серицитизацией, окварцеванием, пиритизацией;

- морфология рудных тел определяется как совокупностью палеоструктурных условий субмаринного накопления рудного вещества, так и последующими процессами воздействия послерудных дислокаций.

Как показали исследования М. Б. Бородаевской, А. И. Кривцова, Е. П. Ширая и др., вулканогенные формации колчеданосных провинций принадлежат к щелочноземельному ряду. Среди них выделяют три серии, различающиеся по соотношению  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$  и содержанию последнего: *натриевая* (базальты  $\text{K}_2\text{O} < 0,5 \%$ , риолиты  $\text{K}_2\text{O} 0,6-1,0 \%$ ); *калиево-натриевая* (базальты  $\text{K}_2\text{O} 0,6-1,0 \%$ , риолиты  $\text{K}_2\text{O} 1-2 \%$ ); *натриево-калиевая* (базальты  $\text{K}_2\text{O} 1-2 \%$ , риолиты  $\text{K}_2\text{O} 2 \%$ ). Каждая серия характерна для провинций, занимающих определенные палеотектонические позиции [34].

Медноколчеданное оруденение, широко развитое на Урале, тесно связано с вулканитами натриевой серии. Эта серия включает последовательно возникающие формации: базальтовую однородную, контрастную риолит-базальтовую, непрерывную базальт-дацит-риолитовую, базальт-андезит-базальтовую. Продуктивными на колчеданные руды являются контрастная и непрерывная.

По формационным и петрохимическим характеристикам рудовмещающих толщ месторождения колчеданного семейства подразделяют на ряд типов: Уральский, Кипрский (Домбаровский),

Баймакский, Филизчайский, Рудноалтайский. Они отличаются геологическими условиями формирования и минеральным составом (по наличию и соотношению главных рудных минералов, в том числе отношением  $Zn / Cu$ ).

Ведущим по распространению и масштабности объектов является *Уральский медно-цинково-колчеданный тип*. Эти месторождения формировались в островодужных структурах, заложенных на океанической коре. Их подразделяют на два подтипа [24]: *первый подтип* связан с вулканитами контрастной риолит-базальтовой формации; *второй подтип* – с продуктами кислого вулканизма в породах непрерывной базальт-андезит-дацит-риолитовой формации. Для них характерен ряд общих черт, а именно: колчеданные залежи вместе с продуктами кислого вулканизма тяготеют к верхним частям разреза рудоносных формаций; рудные тела локализуются на двух-трех литолого-стратиграфических уровнях, порой отстоящих на десятки метров; общий вертикальный диапазон распространения рудных тел (в пределах 100-400 м) сопоставим с мощностью толщ кислых вулканитов. Различия: в рудах, связанных с контрастной формацией по сравнению с непрерывной, содержания  $Cu$  и  $Zn$  более низкие, и при этом практически нет  $Pb$ ; среди попутных компонентов отсутствуют  $Sb$  и  $Ag$ ; месторождения в породах непрерывной формации проявляют обогащенность на верхних уровнях рудных тел  $Zn$ ,  $Pb$ ,  $Sb$ , а также  $As$ ,  $Au$ ,  $Ag$ .

Своеобразную группу уральских колчеданных объектов представляет *Баймакский тип*. Руды имеют барит-медно-цинковый и барит-полиметаллический состав, отличаются повышенной золотосодержимостью.

Месторождения колчеданного семейства известны в мире в широчайшем возрастном диапазоне – от архея до позднего кайнозоя (включая продукты современного сульфидообразования на дне Мирового океана). В пределах Уральской металлогенической провинции установлены следующие стратиграфические уровни формирования руд медноколчеданного семейства [10]:

1. Позднеордовикско-раннесилурийский ( $Q_3 - S_1$ ) – установлен в пределах Шемурско-Медногорской рудоносной зоны. Доля этих объектов в общеуральских запасах оценена в 13-14 %.
2. Верхнесилурийско-нижнедевонский ( $S_2 - D_1$ ) – проявлен лишь в Баймак-Бурабаевском узле Западно-Магнитогорс-

кого палеовулканического пояса. В месторождениях сосредоточено 9-10 % запасов.

3. Среднедевонский (карамалыташский) ( $D_2$ ) – объекты размещены в пределах Магнитогорского прогиба и в ряде других палеовулканических поясов. Этот уровень наиболее продуктивен (до 78 % запасов).
4. Нижнекаменноугольный ( $C_1$ ) – установлен лишь в Мугоджарах в пределах Иргизского палеовулканического пояса.

Морфология залежей колчеданных руд в значительной мере определяется формой депрессионных структур, в которых происходило рудонакопление. Наиболее распространены пластовые и плосколинзовидные тела, протяженность которых колеблется от десятков до нескольких сотен метров при мощности от 1 до 250 м. Выклинивание их обычно постепенное, но в случае ограничения рудолокализирующей депрессии уступами залежи могут резко прекращаться на полную мощность. Другой морфологический тип представляют комбинированные залежи, имеющие форму уплощенных, раскрытых вверх воронок, в том числе Т-образных тел. Субсогласные тела, контролируемые депрессионными структурами, принадлежат к производным гидротермально-осадочного процесса, а крупные апофизы со стороны лежащего бока обладают всеми признаками гидротермально-метасоматического рудоотложения в подводящих каналах. Разнообразие формы колчеданных залежей отражено на рисунках ряда ведущих разведанных месторождений Южного Урала (рис. 7, 8, 9).

Во многих месторождениях колчеданные залежи располагаются поэтажно. Они могут размещаться как в пределах одного уровня продуктивного вулканизма (отстоять друг от друга на незначительном расстоянии), так и на различных уровнях слоистой толщи. В областях развития послерудных дислокаций первичная морфология рудных залежей подвергается существенным изменениям. При этом в ряде случаев рудные тела могут приобрести опрокинутое залегание (например, Дегтярское месторождение).

*Геологическое прогнозирование и поиски.* Научной основой геологического прогнозирования и поисков является исследование формационных характеристик колчеданоносных комплексов. С этой целью составляются и анализируются структурно-форма-

ционные и литолого-фациальные карты соответствующих масштабов, содержащие также и рудную нагрузку.

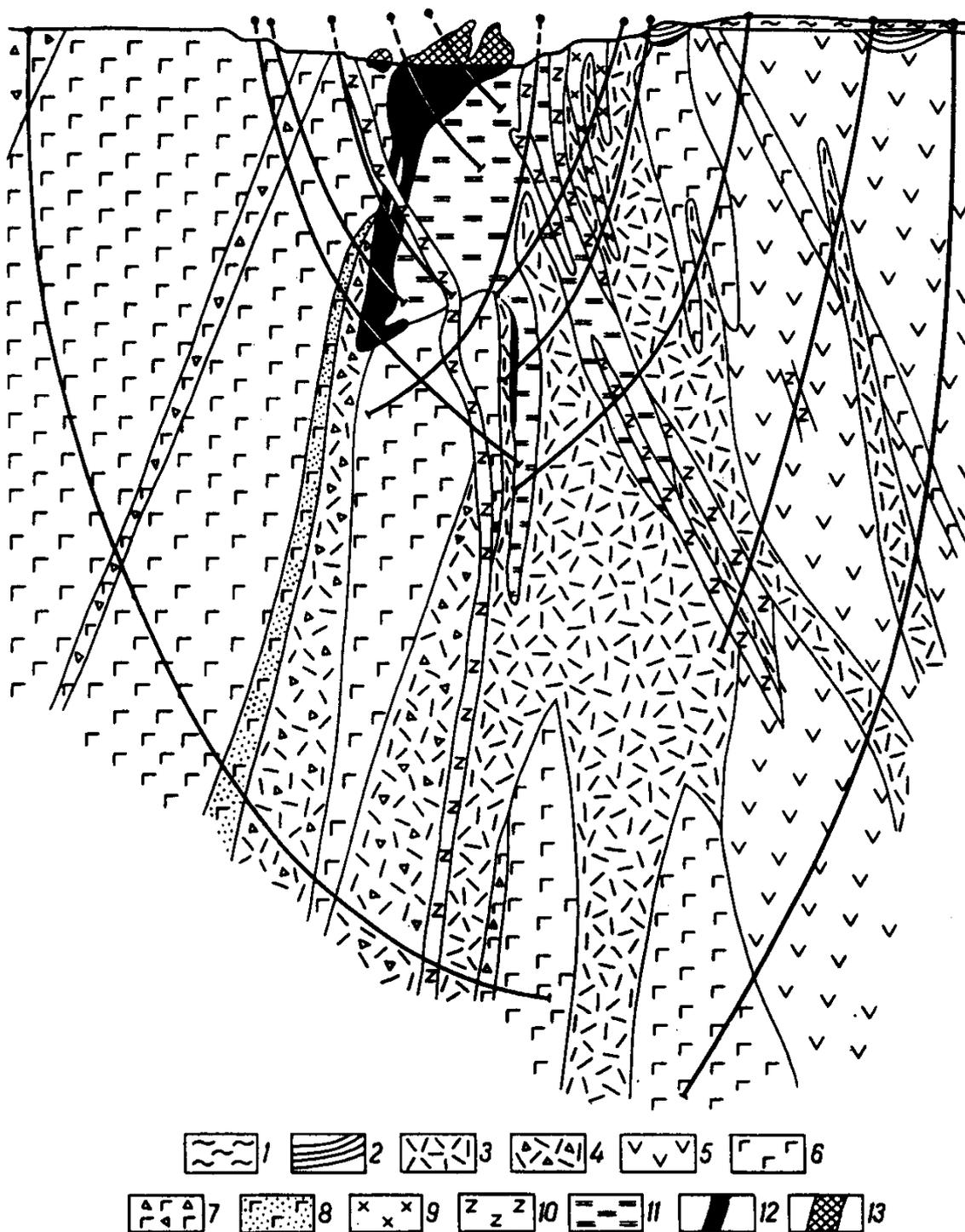


Рис. 7. Схематический геологический разрез Учалинского месторождения (по Б. Г. Галиуллину и др.):

1 – рыхлые отложения; 2 – песчаники; 3 – риолито-дацитовые порфиры;  
 4 – брекчии риодацитов; 5 – андезиты; 6 – базальты; 7 – брекчии базальтовые;  
 8 – туфы основного состава; 9 – диориты; 10 – габбро;

11 – серицит-хлорит-кварцевые метасоматиты; 12 – руда;  
 13 – контур отработанных руд

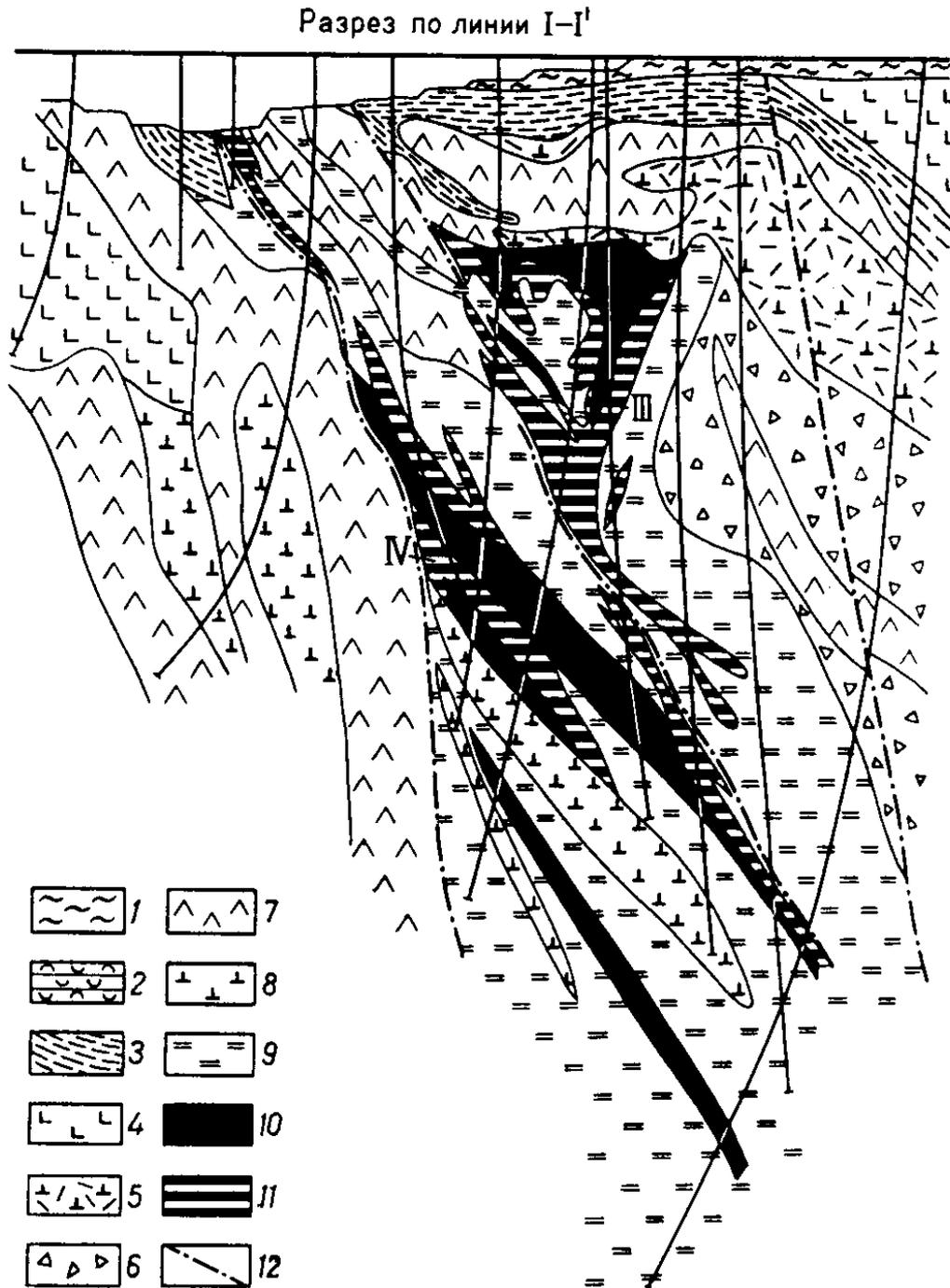


Рис. 8. Схематический разрез по л. I-I' Гайского месторождения  
 (по М. Б. Бородаевской и др.):

1 – рыхлые отложения; 2 – слоистые вулканомиктовые породы улутауской свиты;  
 3 – туффиты; 4 – вулканы основного состава; 5 – туфы кислого состава;  
 6 – брекчии дацитов; 7 – диабазы; 8 – кислые субвулканические породы;  
 9 – метасоматиты серицит-хлорит-кварцевые; 10 – массивный колчедан;

11 – вкрапленные руды (III – IV – номера рудных тел); 12 – разрывные нарушения

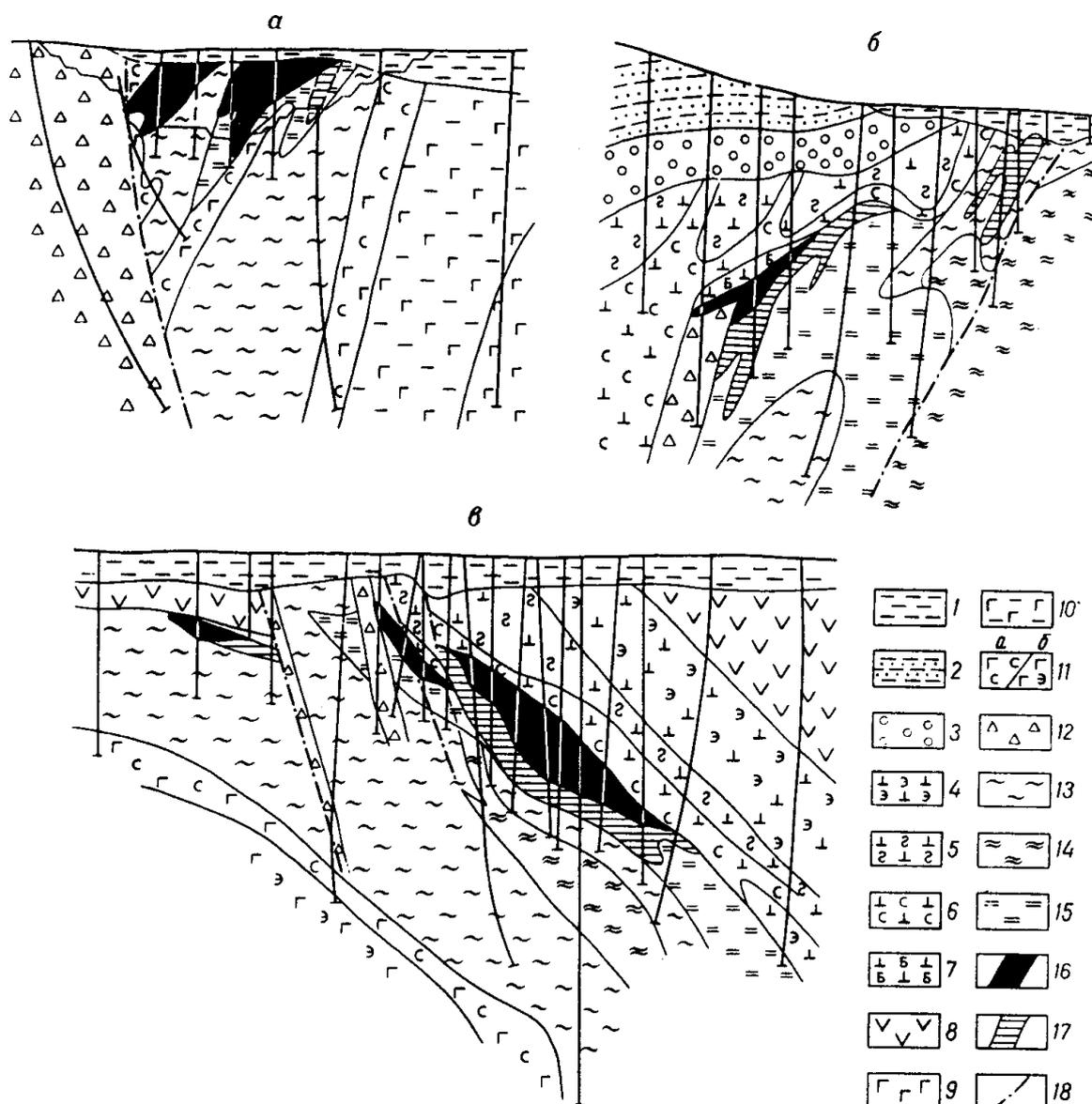


Рис. 9. Схематические геологические разрезы колчеданных месторождений Южного Урала: а – Бурибаевского, б – Майского, в – Молодежного (по В. А. Прокину):

1 – рыхлые отложения; 2 – слоистые туфы; 3 – агломератовые туфы;  
 4-8 – риолит-дацитовые порфиры: 4 – эпидотизированные;  
 5 – гематитизированные; 6 – серицитизированные; 7 – баритизированные;  
 8 – андезитовые порфиры; 9-11 – спилиты, афириты: 9 – гидротермально не измененные; 10 – декальцитизированные; 11 – серицитизированные (а) и эпидотизированные (б); 12 – габбро-диабазы; 13 – серицит-хлорит-кварцевые породы; 14 – кварц-хлоритовые породы; 15 – серицит-кварцевые породы;

16 – массивные руды; 17 – вкрапленные руды; 18 – разрывные нарушения

При поисках медноколчеданных месторождений в масштабе 1:50000 задачей является выявление *рудных полей*. По площади они совпадают с палеовулканическими сооружениями кислого вулканизма либо определяются контурами депрессионных структур основания, в которых аккумулируются продукты кислого вулканизма и иных осадочно-вулканогенных пород. Для оконтуривания рудных полей устанавливаются *следующие факторы и признаки*: ареалы распространения кислых дифференциатов продуктивных формаций, слагающих палеовулканические сооружения, и синвулканических депрессий; палеорельеф и глубины залегания базальтоидного основания кислых дифференциатов, их мощности; зоны отсутствия отражающих площадок сейсмических волн, отвечающих зонам повышенной проводимости; полиэлементные геохимические аномалии, отвечающие надрудному срезу; положение рудоконтролирующих уровней в разрезе продуктивной формации. С учетом этих данных подготавливается обобщенная прогнозно-поисковая модель рудного поля с показом различных вариантов размещения эрозионного среза (рис. 10). Здесь следует отразить возможные изменения ориентировки рудных тел в пространстве вследствие последующих деформаций. Все отмеченное определяет большое разнообразие наблюдаемых обстановок нахождения колчеданных объектов. На подготовленных прогнозных картах потенциальное рудное поле оценивается по категории  $P_2$ .

*Перспективные участки*, эквивалентные площадям возможного нахождения медноколчеданных месторождений, обычно опознаются в масштабе 1:10000-1:5000. Эти участки соответствуют рудоконтролирующим структурам, сочетающим в себе: элементы палеовулканических сооружений, образованных экструзивными и субвулканическими фациями умеренно-кислого и кислого состава; синвулканические депрессии на поверхности и склонах экструзивных куполов; синвулканические разрывы, контролирующие распределение фаций и мощностей вулканитов. При оконтуривании перспективных участков устанавливаются *следующие факторы и поисковые признаки*:

– потенциальные рудоносные уровни в пределах рудовмещающего разреза, содержащие сульфидоносные метасоматиты серицитолитовой формации в лежащем боку рудоносных тел;

- надрудная гематитизация в основании перекрывающих залежи толщ;
- рудокласты, являющиеся результатом синвулканической деформации массивных руд;

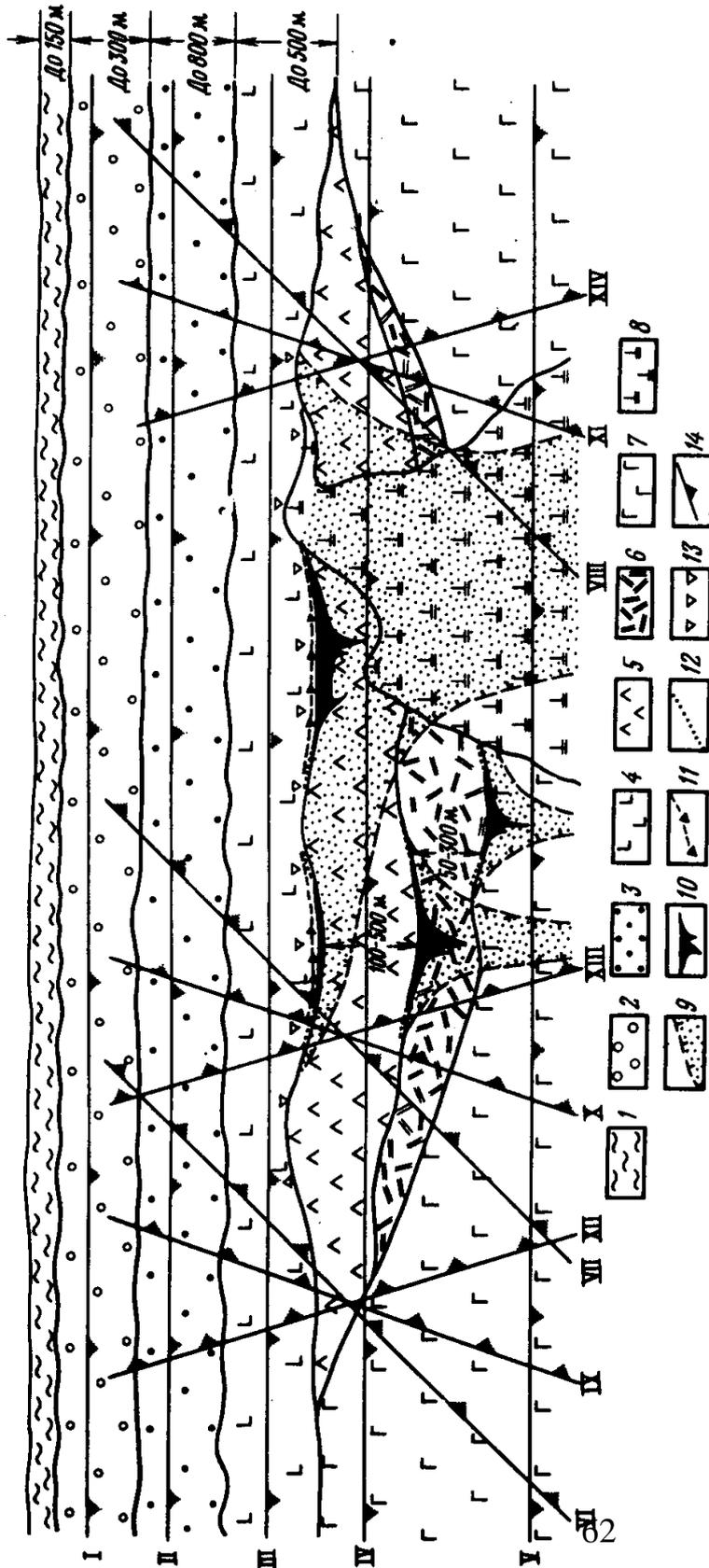


Рис. 10. Обобщенная прогнозно-поисковая модель колчеданного месторождения уральского типа (вертикальное сечение)  
(по А. И. Кривцову):

1-4 – образования, перекрывающие колчеданосные вулканоносные формации: 1 – покровные рыхлые отложения; 2 – граувакки; 3 – вулканоносные молассоиды; 4 – вулканы базальт-андезит-базальтовой формации; 5-7 – колчеданосная непрерывная формация: 5 – дацитовая; 6 – андезит-дацитовая; 7 – андезит-базальтовая и базальтовая; 8 – экструзивные купола риолитовых порфиров; 9 – метасоматиты серицитолитовой формации с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией; 10 – рудные тела; 11 – рудокласты в пачках вулканомигматических пород; 12 – последняя сульфидная вкрапленность; 13 – надрудная гематитизация; 14 – варианты положения эрозийного среза при различном залегании руды и вмещающих пород: I – V – близгоризонтальном; VI – VIII – наклонном; IX – XI – крутом близвертикальном; XII – XIV – запрокинутом

– типоморфные элементы-индикаторы Cu, Zn, Pb, Ag, Ba, Mo, Co, As; также учитываются Hg, Bi, Cd, Au, Sb, Sn, Mn;

– асимметричная поперечная зональность геохимических ореолов, позволяющая разделять их на собственно рудную, тыловую и фронтальную; элементами тыловой части являются Mo, Co, Cu и Bi, а фронтальной (висячем боку залежей) – Zn, Pb, Ag, Ba и Hg.

Таблица 5

**Виды и методы работ, требуемые для выделения и оценки перспективных участков на оруденение медноколчеданного типа**

Виды работ	Обстановки ведения работ		
	I	II	III
1. Объемное геологическое, фациально-формационное, литолого-фациальное и структурное картирование М 1:25000-1:10000 с составлением специализированного комплекса карт и разрезов	++	++	++
2. Горно-буровые работы	++	++	++
3. Геофизические работы			
3.1. Сейсморазведка (МОГТ, МОВ)	++	++	++
3.2. Гравиразведка	++	++	++
3.3. Электроразведка (ЕП, ВП, ВЭЗ-ВП, МПП, СГ-ВП, КП-ВП, ЗСБ)	++	++	++
3.4. Скважинные исследования (ЕП, ВП, КСПК, РВП, МЗТ, МПЗТ, МЭК-ПКВ)	++	++	++
4. Геохимические работы			
4.1. Литохимическая съемка по первичным ореолам	+	+	-
4.2. Литохимическая съемка по вторичным ореолам	++	+	-
5. Изучение вещественного состава руд	++	++	++
6. Локальное прогнозирование с составлением прогнозных карт и оценкой прогнозных ресурсов категорий $P_1$ ( $P_2$ )	++	++	++

*Примечание.* I – обстановки, выходящие на поверхность; II – скрытые; III – перекрытые; (+ +) – обязательное применение метода; (+) – метод рекомен-

дуются в определенных геологических и ландшафтных обстановках; (–) – метод не применяется.

Большое значение при крупномасштабном прогнозе и поисках имеет составление прогнозно-поискового комплекса (ППК), основанного на разработанных прогнозно-поисковых моделях (ППМ) (табл. 5). Показанные в комплексе характеристики должны быть достоверно опознаны современными методами геологоразведочных работ, включая геофизические методы. На примере одного из медноколчеданных месторождений Южного Урала (рис. 11) над рудной залежью отчетливо зафиксирована повышенная кажущаяся поляризуемость ( $\eta_k$  до 6 %) при нормальном поле в 1 %.

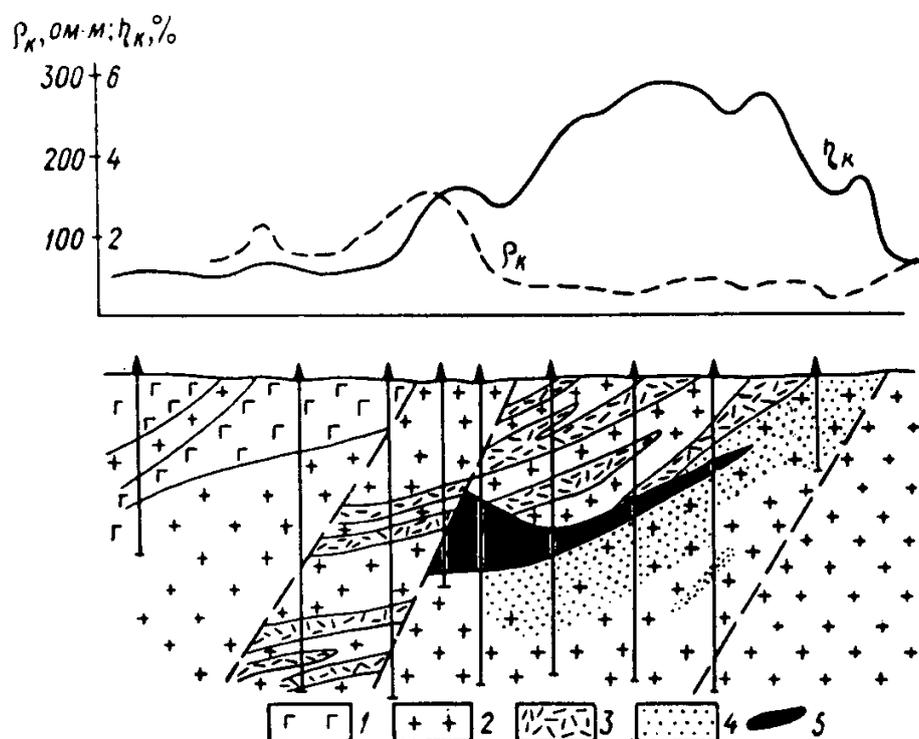


Рис. 11. Геолого-геофизический разрез меднорудного месторождения Яман-Касы (по Б. А. Игошину):

1 – диабазы; 2 – риолиты; 3 – туффиты;  
4 – вкрапленность сульфидов; 5 – колчеданные руды

Как показала практика, при поисковых работах масштаба 1:50000 в качестве исходной может быть принята сеть структурно-поисковых скважин  $5-10 \times 1,5$  км. При этом возможен как пропуск рудных полей, так и обнаружение их признаков в одиночных скважинах. Надежность подобной сети повышается при использовании метода заряженного тела, обеспечивающего обнаружение рудных

тел на расстоянии до 1-2 км, а в варианте «большого заряда» – на удалении до 2,8-3,5 км. Последующие поиски в пределах рудных полей по сети  $2-3 \times 1-1,5$  км и  $0,5-1 \times 1-1,5$  км могут привести к обнаружению оруденения или его пропуску при малых размерах.

При крутом залегании рудовмещающих вулканогенных толщ (как это имеет место на Среднем Урале) расстояния между профилями структурно-поисковых скважин могут колебаться в пределах первых километров, а расстояния между скважинами в профилях составлять 500-600 м (по напластованию). На выделенных перспективных участках, включающих потенциальные медноколчеданные месторождения, оцениваются прогнозные ресурсы категории  $P_1$  и  $P_2$ . При этом при расчете задействуют параметры уже известных рудоносных зон.

### **2.2.5. Разведка меднорудных месторождений**

По размерам и форме рудных тел, изменчивости их мощности, внутреннего строения, особенностях распределения меди все месторождения соответствуют 1-й, 2-й и 3-й группам [19]:

*1-я группа* – месторождения (участки) простого геологического строения с рудными телами, представленными крупными пластообразными и плитообразными залежами простой формы с выдержанной мощностью и относительно равномерным распределением меди (Джезказганское месторождение, Казахстан), а также месторождения, представленные крупными штокверками простой формы с относительно равномерным распределением меди (Кунрадское месторождение, Казахстан).

*2-я группа* – месторождения (участки) сложного геологического строения с рудными телами, представленными крупными и средними пластообразными, линзообразными залежами и жилообразными телами неоднородного строения, с невыдержанной мощностью или относительно неравномерным распределением меди. Размеры рудных тел по простиранию и падению десятки и сотни метров при мощности в десятки и сотни метров (Удоканское, Гайское, Ново-Учалинское, Узельгинское, Подольское и др., Россия). В эту группу входят и месторождения, представленные крупными и средними штокверками сложной формы с неравномерным распределением меди (Кальмакырское, Дальнее, Узбекистан).

*3-я группа* – месторождения (участки) очень сложного геологического строения с рудными телами, представленными средними и небольшими по размерам линзообразными, пластообразными и жиллообразными залежами с изменчивой мощностью и невыдержанным содержанием меди (Красногвардейское, Октябрьское, Тарньерское, Чусовское, Александринское, Россия), а также небольшими очень сложного строения столбообразными, штокообразными телами, линзоподобными залежами и жилами с весьма неравномерным распределением меди (Джусинское, Вадимо-Александровское, Озерное и др., Россия).

Методические подходы к разведке меднорудных месторождений рассмотрим на примере двух ранее охарактеризованных геолого-промышленных типов.

Месторождения *медно-порфирового типа* обычно представляют собой крупные (средние по размеру) штокверки со значительными запасами металла. Рудные залежи не имеют четких геологических границ, постепенно переходя в слабоминерализованные породы. Форма их зависит от конфигурации рудоносного массива, свойств вмещающих пород, характера дорудной и послерудной тектоники. В плане по данным опробования выделяются очертания рудных тел в виде овальной или кольцевой формы. В вертикальном разрезе медно-порфировые руды образуют горизонтальные или слабонаклонные линзообразные, плащеобразные тела большой мощности или штоки. Характерной чертой этих месторождений является вторичная вертикальная зональность. В ее пределах обычно выделяют до пяти зон (сверху вниз): выщелачивания, окисленных руд, смешанных руд, вторичного сульфидного обогащения и первичных руд. Мощность зон колеблется в широких пределах (от первых метров до сотни метров). Первичные руды прожилково-вкрапленные преимущественно халькопиритового или молибденит-халькопиритового состава. Характерна неравномерная вкрапленность и тонкое прораствание сульфидов. В молибдените в виде изоморфной примеси обычно присутствует рений.

Месторождения *медноколчеданного типа* представлены различными структурно-морфологическими типами, отдельные из которых являются ведущими для конкретных рудных полей:

– пластообразные тела, залегающие согласно с напластованием рудовмещающих пород;

– тела комбинированной формы, верхние части которых согласны с напластованием, а апофизы лежащего бока секут напластование под большими углами;

– крутопадающие линзообразные, реже жилообразные тела, занимающие отчетливо секущее положение относительно напластования;

– залежи, характеризующиеся взаимными переходами между линзообразными телами и залежами комбинированной формы.

Внутреннее строение медноколчеданных руд характеризуется сочетанием руд массивной (часто полосчатой) и вкрапленной текстур. Если массивные руды обычно имеют геологические границы, то вкрапленные связаны постепенными переходами со слабоминерализованными породами. Особенность массивных руд – их тонкозернистость.

Руды преимущественно халькопиритового и сфалеритового состава (с халькозином, борнитом, арсенопиритом, галенитом). Главными полезными компонентами в них, кроме Cu и Zn, являются Fe и S, из попутных – Au, Ag, Cd, Se, Te.

Для верхних горизонтов рудных тел характерно наличие *зоны окисления*, которая имеет три этажа (сверху вниз):

– «железная шляпа», представленная бурым железняком, где главными минералами являются гидроксиды и оксиды железа с незначительным количеством малахита; горизонт обогащен Au и Ag;

– окисленные руды, где более 50 % минералов представлены малахитом, азуритом, хризоколлой; они плохо поддаются обогащению;

– зона вторичного сульфидного обогащения представлена халькозином, купритом и другими минералами; это легко обогащаемые руды.

*Общие положения методики разведки меднорудных месторождений сводятся к следующему [19].*

Геологическое строение разведываемого месторождения должно быть детально изучено и отражено на геологической карте масштаба 1:1000-1:10000 (в зависимости от размера объекта), геологических разрезах, планах, проекциях и т. д.

Выходы и приповерхностные части рудных тел изучают горными выработками и неглубокими скважинами с детальностью, позволяющей установить морфологию и условия залегания рудных тел, глубину развития зоны окисления, технологические свойства

руд. По этим данным производится подсчет запасов окисленных и смешанных по составу руд.

Разведка меднорудных месторождений простого строения производится в основном скважинами с использованием геофизических методов (наземных, в скважинах). Соотношение объемов буровых и горных работ, геометрия и плотность разведочной сети, методы и способы опробования должны обеспечивать возможность подсчета запасов по категориям, соответствующим группе сложности геологического строения.

По скважинам колонкового бурения должен быть получен максимальный выход керна хорошей сохранности (не менее 70 % по каждому рейсу бурения), обеспечивающий выяснение с необходимой полнотой особенностей залегания и внутреннего строения рудных тел. Величину представительного выхода керна необходимо подтвердить исследованием возможности его избирательного истирания.

Для повышения достоверности бурения следует использовать геофизические исследования в скважинах, рациональный комплекс которых определяется исходя из поставленных задач, конкретных геолого-геофизических условий месторождения.

В вертикальных скважинах глубиной более 100 м и во всех наклонных не более чем через каждые 20 м должны быть определены и подтверждены контрольными замерами азимутальные и зенитные углы их стволов. Результаты этих измерений необходимо учитывать при построении геологических разрезов, погоризонтных планов. Для скважин необходимо обеспечить пересечение ими рудных тел под углом не менее 30°. Для пересечения крутопадающих жил целесообразно применять искривление скважин и осуществлять бурение многозабойных скважин (вееров подземных скважин). Бурение по руде следует проводить одним диаметром.

Горные выработки проходятся для контроля данных бурения, отбора технологических проб, а на месторождениях сложного строения – для изучения условий залегания, морфологии, внутреннего строения рудных тел, их вещественного состава. Проходят горные выработки на участках, намечаемых к первоочередной отработке. Расположение разведочных выработок и расстояния между ними должны быть определены для каждого структурно-морфологического типа рудных тел с учетом их размеров, особенностей геологического строения, возможностей использования геофизических методов для оконтуривания рудных тел. Обобщен-

ные сведения о плотности разведочных сетей, применявшихся в странах СНГ, отражены в табл. 6.

Для подтверждения достоверности запасов отдельные участки месторождений должны быть разведаны более детально. *Участки детализации* опробуются по более плотной (не менее чем в 2 раза) разведочной сети. Они должны отражать особенности условий залегания и форму рудных тел, преобладающее качество руд.

Таблица 6

**Сведения о плотности сетей разведочных выработок  
при разведке месторождений медных руд**  
(Методические рекомендации..., 2007)

Группа месторождения	Характеристика рудных тел	Виды выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками, м					
			A		B		C <sub>1</sub>	
			по простиранию	по падению	по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
1	Крупные пластообразные залежи и пластообразные тела с выдержанной мощностью и относительно равномерным распределением меди	Скважины	75	<b>75</b>	150	150	300	300
	Крупные штокерки простой формы с относительно равномерным распределением меди	—	75	<b>75</b>	100	100	100	150

2	Крупные и средние пласто- и линзообразные залежи и жиллообразные тела неоднородного строения с невыдержанной мощностью или неравномерным распределением меди	Скважины, горные выработки	-	-	50	75	100	150
---	--	----------------------------	---	---	----	----	-----	-----

Окончание таблицы 6

Группа месторождения	Характеристика рудных тел	Виды выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками, м					
			A		B		C <sub>1</sub>	
			по простиранию	по падению	по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
	Крупные и средние по размерам штокверки и штокообразные тела сложной формы неоднородного строения с неравномерным распределением меди	Скважины, горные выработки	-	-	50	100	100	200

3	Средние и небольшие по размерам линзо-, пласто- и жиллообразные залежи с изменчивой мощностью и невыдержанным содержанием полезных компонентов; небольшие сложного строения столбостолбообразные тела, сложноветвящиеся метасоматические залежи и т. д.	= 1	–	–	–	–	50	50-70
---	---	-----	---	---	---	---	----	-------

*Примечание.* На оцененных месторождениях разведочная сеть для кат.  $C_2$  по сравнению с сетью для кат.  $C_1$  разрезается в 2-4 раза в зависимости от сложности геологического строения месторождения.

Все вскрытые разведочными выработками рудные интервалы подлежат опробованию. Принятые методы и способы должны обеспечивать наибольшую достоверность результатов при достаточной производительности и экономичности. В случае применения нескольких методов и способов опробования их необходимо сопоставлять по точности результатов и достоверности.

Опробование разведочных сечений производится с соблюдением ряда условий:

- сеть опробования должна быть выдержанной; пробы отбираются в направлении максимальной изменчивости оруденения; в случае пересечения рудных тел разведочными выработками под острым углом к направлению максимальной изменчивости должна быть доказана возможность использования этих сечений в подсчете запасов;
- опробование проводится непрерывно на всю мощность рудных тел с выходом во вмещающие породы;
- природные разновидности руд опробуются отдельно, секциями; длина каждой секции определяется внутренним строением рудного тела, изменчивостью состава и строения;

– качество опробования по каждому принятому методу и способу необходимо систематически контролировать, оценивая точность и достоверность результатов; так, точность бороздowego опробования следует контролировать сопряженными бороздами того же сечения; точность кернового опробования в случае деления керна пополам – отбором проб из вторых половинок керна.

Химический состав руд изучается с полнотой, обеспечивающей выявление всех основных и попутных компонентов, вредных примесей и шлакообразующих компонентов. Их содержание определяется анализом проб химическими, спектральными, физическими, геофизическими и иными методами. Все рядовые пробы анализируются на медь и компоненты, учитываемые при оконтуривании рудных тел (Zn, Pb, Mo, Ni, Co, S). Иные полезные компоненты (Au, Ag, Se, Te, In, Sb и др.) и вредные примеси (P, As и др.) определяются по групповым пробам.

Качество анализов проб необходимо систематически проверять, а результаты контроля своевременно обрабатывать. Для определения величины случайных погрешностей следует проводить *внутренний контроль* путем анализа зашифрованных контрольных проб, отобранных из дубликатов аналитических проб; *внешний контроль* предусмотрен для выявления и оценки возможных систематических погрешностей. Он выполняется в лаборатории, имеющей статус контрольной. На контроль направляются дубликаты аналитических проб, прошедших внутренний контроль. Пробы, направленные на внутренний и внешний контроль, должны характеризовать все разновидности руд месторождения и классы содержаний.

В результате изучения химического и минералогического состава, текстурно-структурных особенностей и физических свойств руд устанавливаются их природные разновидности и намечаются промышленные (технологические) типы, требующие селективной добычи и раздельной переработки. Окончательное выделение типов и сортов руд производится по результатам технологического изучения их природных разновидностей.

*Технологические свойства руд* изучаются в лабораторных и полупромышленных условиях на минералого-технологических, малых технологических, лабораторных, укрупненно-лабораторных и полупромышленных пробах. Уточняются технологические типы руд, требующие селективной добычи, или обосновывается возможность валовой выемки рудной массы.

В процессе технологических исследований целесообразно изучить возможность преобогащения или разделения на сорта в тяжелых суспензиях радиометрической сепарацией. Поэтому пробы кускового материала (до 150 мм) исследуются на гравитационную и радиометрическую контрастность. Исследование рудоподготовки также включает изучение дробимости, измельчаемости, вскрываемости минералов.

Проводится *геолого-технологическое картирование*. При этом малыми пробами, отобранными по определенной сети, должны быть охарактеризованы все природные разновидности руд, выявленные на месторождении. По результатам испытаний проб производится геолого-технологическая типизация с выделением технологических типов и сортов руд, изучается пространственная изменчивость вещественного состава, физико-механических и иных особенностей руд, составляются технологические карты, планы и разрезы. На лабораторных и укрупнено-лабораторных пробах должны быть изучены технологические свойства всех выделенных типов руд в степени, необходимой для выбора оптимальной технологической схемы их переработки. Важно определить степень измельчаемости руд, обеспечивающей максимальное вскрытие ценных минералов при минимальном ошламовании и сбросе их в хвосты.

Для всех промышленных (технологических) типов медных руд обогащение производится различными методами: механическим, гидро- и пирометаллургическим, их комбинированным сочетанием. Основным методом механического обогащения является флотация. Для усиления флотируемости окисленных минералов меди используют предварительную сульфидизацию.

Выполняемые на стадии разведки *гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, экологические* и иные исследования по содержанию во многом близки к тем, что изложены ранее в разделе «Разведка железорудных месторождений». Эти исследования должны быть изучены с детальностью, необходимой для получения исходных данных для составления проекта разработки месторождения.

*Подсчет и квалификация по степени разведанности запасов* месторождений медных руд производятся в соответствии с требованиями [9]. Запасы месторождений медных руд подсчитывают по подсчетным блокам, где количество руды не должно превышать годовую производительность будущего горного предприятия. Требования к под-

счетным блокам изложены ранее. Они относятся как к подсчету запасов традиционными методами, так и с использованием метода геостатистического моделирования (включающего процедуру крайгинга).

Разведанные месторождения относятся к подготовленным для промышленного освоения при выполнении следующих условий [19]:

- обеспечена возможность квалификации запасов по категориям, соответствующим группе сложности геологического строения месторождения;

- вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучены детально и обеспечивают получение исходных данных, достаточных для проектирования рациональной технологии их переработки;

- запасы других совместно залегающих полезных ископаемых оценены в степени, достаточной для определения их количества и возможных направлений использования;

- гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, экологические, горно-геологические и другие природные условия изучены детально и обеспечивают получение исходных данных для составления проекта разработки месторождения;

- достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии рудных тел, качестве и количестве запасов подтверждена на представительных для всего месторождения участках детализации;

- рассмотрено возможное влияние разработки месторождения на окружающую среду; даны рекомендации по снижению прогнозируемого уровня отрицательных экологических последствий;

- подсчетные параметры кондиций установлены на основании технико-экономических расчетов, позволяющих определить масштаб и промышленную значимость месторождения с необходимой достоверностью.

Рациональное соотношение запасов различных категорий определяется недропользователем с учетом допустимого предпринимательского риска.

## **2.3. Золоторудные месторождения**

### ***2.3.1. Золото, его свойства, промышленное значение, минеральные формы нахождения***

*Золото* – металл из группы благородных. Его плотность  $19,32 \text{ г/см}^3$ , температура плавления  $1064 \text{ }^\circ\text{C}$ . Обладает наивысшей среди металлов ковкостью (один грамм золота можно раскатать в лист площадью  $1 \text{ м}^2$ ), высокой теплопроводностью и электропроводностью, мягкостью, тягучестью.

Золото не соединяется с кислородом, водородом, азотом, углеродом даже при высокой температуре, не растворяется в щелочах и кислотах (за исключением царской водки, щелочных цианидов, некоторых органических соединений). Образует сплавы со многими металлами: Pt, Pd, Ag, Cu, Bi, Cr, Co, In, Sn, Al, Zn, Cd, Zn и др., с ртутью золото образует амальгаму.

На уникальных физико-химических свойствах золота основывается все возрастающее применение металла в промышленности. Золото и его сплавы используются в качестве сварочных материалов в деталях реактивных двигателей, ракет, ядерных реакторов, сверхзвуковых самолетов, для изготовления термопар, плавких и электрических контактов в приборах, волосков хронометров и т. д.

Золото является эффективным тепло- и светоотражателем, поэтому используется для покрытия космических аппаратов. В электронной технике из золота высокой чистоты изготавливают тончайшие электроды для полупроводников. Золото, легированное Ge, In, Ga, Si, Sn, Se, идет на изготовление контактов, диодов, выпрямителей. Также золото находит широкое применение в ювелирной промышленности и медицине.

Золото является *главным валютным металлом*. Большая часть его сохраняется в виде золотого запаса, используемого при международных расчетах.

Золото относится к числу наиболее редких элементов земной коры; его кларк составляет  $(4-5) \cdot 10^{-7} \%$ .

В рудах золото присутствует в основном в самородном виде. Обычно оно содержится в кварце и сульфидах (арсенопирите, пирите, халькопирите, блеклых рудах, галените и других минералах) в рассеянном тонкодисперсном состоянии. По своему составу самородное золото не бывает химически чистым и представляет собой твердый расплав с рядом элементов – преимущественно с серебром, реже с медью, палладием, висмутом и др. «Проба золота» – это число массовых частей химически чистого золота в 1000 частей самородного золота или сплава, выраженное в ‰ – промилле.

Наиболее распространенными разновидностями самородного золота являются: медистое золото (купроаурит) – содержание Cu до 20 %; палладистое золото (порпечит) – Pd 5-11 % и Ag до 4 %; висмутистое золото (бисмутоаурит) – Bi до 4 %; электрум – Ag свыше 25 %; кюстелит – Au 10-25 % и Ag 75-90 %. Известны и другие золотосодержащие минералы – аурустибит  $AuSb_2$ , родит Au (Rh, Ir, Pd), теллуриды – калаверит  $AuTe_2$ , сальванит  $(Au, Ag)Te_4$ , креннерит  $(Au, Ag)Te_2$ , петцит  $Ag_3AuTe_2$  и др.

Для самородного золота в рудах характерно разнообразие форм выделений, в их числе: обособления прожилковой, комковидной, таблитчатой, дендритовидной, проволоковидной и иной формы. Золотины кристалломорфных очертаний имеют различный облик – куба, октаэдра, пентагондодекаэдра, их комбинаций. По размеру частицы золота колеблются от мелких и тончайших выделений до самородков массой в сотни граммов и даже десятков килограммов. Наиболее часто встречаются обособления частиц золота размером от мельчайших до первых миллиметров.

В последние годы в современной геологии одно из активно развивающихся направлений связано с изучением *природных наночастиц*: их морфологии, структуры, условий возникновения и концентрации. Это относится и к наночастицам благородных металлов. Отмечено (Жмодик, 2006), что практически все вещества резко меняют свои свойства при переходе к наноразмерному состоянию. Температура плавления золота 1054 °С, но при нахождении золота в виде частиц размером 4 нм точка плавления уже соответствует 427 °С. В состоянии наноразмерности частиц золото резко меняет свои свойства и легко окисляется на воздухе. Накапливаемые факты о составе и структуре наночастиц позволяют получать новую информацию об условиях транспорта и окисления, рассеяния и концентрирования различных типов частиц благородных металлов (кластеров благородных металлов, нанокompозитов с благородными металлами, элементоорганических соединений, микробных сообществ золотин и т. д.), что в определенных геологических обстановках может привести к формированию месторождений полезных ископаемых нетрадиционных типов.

### **2.3.2. Сведения о металлогенических эпохах накопления золота**

В геологической истории Земли выявлены определенные эпохи накопления золота. Выделяют пять основных эпох (Беневольский, 1995):

Архейская, давшая в общей сумме 51 тыс. т золота, в том числе в позднем архее – 37 тыс. т (из месторождений да<sup>1</sup>).

Позднепротерозойская – 8 тыс. т.

Каледонско-герцинская – 5 тыс. т.

Мезозойская – 14 тыс. т.

Альпийская – 300 тыс. т.

Эти цифры соответствуют следующим коэффициентам накопления металла (т/млн лет): архей – 50, протерозой – 3, каледониды-герциниды – 25, мезозоиды – 100, альпиниды – 6000. Таким образом, на фоне закономерно возрастающего накопления золота в геологической истории проявлен аномально высокопродуктивный архейский пик, имеющий геологическое объяснение, в том числе приуроченность этих месторождений к древним вулканоплутоническим зеленокаменным поясам [14]. Зеленокаменные трогги располагались среди гранитогнейсовых пород древних щитов и складчатых областей, привнос золота проходил из подкорковых источников. Большое значение имели гидротермальные и метаморфические процессы. Среди месторождений преобладают золото-кварцевая и золото-сульфидно-кварцевая формации (месторождения Холинджер, Керкленд-Лейк, Канада; Колар, Индия). Позднее, когда на сиаллической коре формировались крупные длительно живущие прогибы, заполнявшиеся терригенными отложениями, существовали условия для накопления крупномасштабных и уникальных пластообразных месторождений типа золотоносных конгломератов (Витватерсранд, ЮАР; Тарква, Гана; Жакобина, Бразилия; Блайнд-Ривер, Канада).

Структура запасов коренных месторождений России по геолого-промышленным и возрастным типам резко отличается от структуры запасов и добычи месторождений мира. Если в мире около половины запасов сосредоточено в месторождениях, связанных с архейскими зеленокаменными и докембрийскими золотоносными конгломератами, то в России преобладающая часть запасов (49,5 %)

---

<sup>1</sup> По данным ряда авторов, формирование месторождений Витватерсранда произошло позднее в протерозойское время.

связана с месторождениями золото-сульфидной, золото-кварцевой, золото-сульфидно-кварцевой формаций в углеродисто-терригенных толщах фанерозоя, а также с золото-серебро-адуляр-кварцевой формацией в вулканоплутонических комплексах мезозоя. Помимо этого на месторождения комплексных руд приходится более 28 %, золотоносные коры выветривания – 3,5 % (Олимпиадинское, Светлинское, Воронцовское и др.), россыпи золота – 17,8 % .

Мировые запасы золота, согласно опубликованным данным, составляют порядка 55 тыс. т. Наиболее крупными запасами обладают ЮАР, США, Россия, Австралия, Индонезия, Канада. В России запасы учтены в 372 коренных месторождениях, из которых лишь 249 являются собственно золоторудными, а остальные – золотосодержащими (комплексными). Также учтены запасы более чем в 5 тыс. россыпных месторождений.

Мировая добыча золота составляет около 2500 т. Ведущими производителями металла являются ЮАР (в отдельные годы добывалось до 900 т в год), США, Австралия, Китай, Россия (150 т и возможно более).

### ***2.3.3. Систематика ведущих геолого-промышленных типов месторождений***

По минеральному составу и форме рудоносных залежей *эндогенные месторождения золота* подразделяют на следующие группы (формации) [22]:

*Золото-кварцевая* и *золото-сульфидно-кварцевая* формации. Золото в рудах преимущественно свободное и находится в кварце, частично – в сульфидах. В зависимости от состава сульфидов в объеме формации выделяются различные минеральные типы. Месторождения представлены отдельными жильными телами, жильными зонами и штокверками, формировавшимися в условиях средних глубин в осадочных, вулканогенных, интрузивных и реже в метаморфических породах.

*Золото-сульфидная формация.* Золото тесно связано с сульфидами. В их числе пирит, халькопирит, арсенопирит, пирротин, сфалерит, галенит. Месторождения представлены зонами вкрапленности золотоносных сульфидов в осадочных и эффузивно-осадочных толщах, нередко тяготея к углеродсодержащим комплексам.

*Золото-карбонат-сульфидная формация.* Включает месторождения типа залежей, жил, гнездового или вкрапленного оруденения в карбонатных толщах и сформированных по ним метасоматитов (гумбеитов, джаспероидов).

*Золото-силикатная (скарновая) формация.* Месторождения представлены скарновыми залежами в контактовых ореолах палеозойских, реже мезозойских массивов гранитоидного состава. Оруденение обычно связано с наложенной сульфидной и золотой минерализацией.

*Золото-серебряная (золото-адуляр-кварцевая) формация.* Характеризуется высокой серебристостью золота и обилием собственно серебряных минералов (сульфидов, сульфосолей); в некоторых из них присутствуют теллуриды. Месторождения представлены жилами, минерализованными и жильными зонами, штокверками. Формируются обычно в близповерхностных условиях с наземным вулканизмом.

Предложенная систематика призвана учитывать морфологические особенности, условия залегания, внутреннее строение рудных тел, характер распределения в них золота, что является важнейшими классификационными показателями при разведке месторождений. С этой целью рекомендовано подразделять минерализованные породы на следующие морфологические типы: штокверки, минерализованные и жильные зоны, жилы, залежи сплошных и вкрапленных руд, трубообразные и неправильной формы залежи, гнезда.

В то же время приведенная систематика эндогенных месторождений золота не рассматривает целый ряд вопросов, подлежащих обязательному учету при прогнозно-металлогенических исследованиях с целью выделения перспективных площадей, а также при проведении поисковых работ. В этом случае за основу должна быть взята типизация обстановок нахождения золоторудных объектов (о чем будет сказано ниже – раздел 2.3.4.)

Природные типы руд коренных месторождений золота отличаются друг от друга по содержанию полезных компонентов и

вредных примесей, текстурно-структурным особенностям, характеру ассоциаций золота с иными минералами, форме и крупности частиц золота, наличию или отсутствию окисленных минералов. На основе объединения природных типов формируются технологические типы руд.

По содержанию золота (г/т) руды подразделяют на сорта: богатые – 10-30 (иногда до 50), рядовые – 3-6 (до 10), бедные (убогие) – 2-3 и ниже. При использовании высокорентабельной технологии кучного выщелачивания золота могут использоваться руды с низким содержанием золота – 1-2, иногда 0,5-1,0.

По крупности частиц золота в рудах (мкм) выделяют: крупное > 70, мелкое – 70-1, тонкодисперсное – 1-0,1, субмикроскопическое – 0,1-0,01 и мельче.

По фазовому составу золото подразделяют: на свободное (амальгамируемое); в сростках с кварцем, сульфидами и другими минералами (цианируемое, легкообогатимое); покрытое пленками оксидов и гидроксидов железа и марганца (в «рубашках»); тонковкрапленное в сульфидах труднообогатимое (упорное); тонковкрапленное в породообразующих минералах (в кварце, алюмосиликатах и других кислоторастворимых минералах).

По содержанию сульфидов (%) руды делят: на убого-сульфидные (до 1-3), умеренно сульфидные (5-20) и существенно сульфидные (> 20).

#### ***2.3.4. Типизация обстановок нахождения золоторудных месторождений для целей прогноза, поисков и оценки выявленных объектов***

Установлено многообразие геологических обстановок нахождения золоторудных месторождений, определяемое различиями геотектонических позиций оруденения и отвечающих этим обстановкам структурно-вещественных комплексов [23]. Именно эти особенности закладываются в качестве эмпирической основы в формационную систематику месторождений, определяя специфику предлагаемых прогнозно-поисковых комплексов.

К основным элементам геологических обстановок нахождения месторождений относят продуктивные на золото геологические формации в совокупности со структурными элементами (как пли-

кативными, так и дизъюнктивными), контролирующими размещение этих формаций и связанных с ними месторождений. *Оконтуривание ареалов продуктивных геологических формаций*, выполняемое с учетом геолого-структурных элементов, и является главным методом выделения площадей, перспективных на определенный тип оруденения.

Изучение детально разведанных рудных полей показало, что месторождения различной формационной природы являются естественными составляющими геологических формаций. Связь геологических и рудных формаций наиболее отчетлива для месторождений платиноидов, колчеданного семейства, стратиформных свинцово-цинковых и иных месторождений, локализованных в объеме рудоконтролирующих продуктивных формаций. Золоторудные месторождения, в отличие от упомянутой группы, могут размещаться как в пределах продуктивных комплексов, так и в породах «рамы». Поэтому при прогнозировании золотооруденения особое внимание уделяется выделению и последующему изучению продуктивных геологических формаций. В качестве таковых могут выступать различные комплексы пород – углеродсодержащие терригенные, терригенно-карбонатные, магматические образования – вулканогенные и интрузивные.

По тектоническим позициям и отвечающим им структурно-вещественным комплексам (СВК) в сырьевой базе золоторудной промышленности России выделены следующие типы [23].

1. *Месторождения в комплексах наложенных вулканоплутонических поясов (ВПП) и зон тектоно-магматической активизации (ТМА)*. По данным ЦНИГРИ, с этими комплексами связано 20,2 % запасов коренных месторождений золота России и 34,5 % прогнозных ресурсов. Известны следующие типы (формации) золоторудных месторождений.

*Золото-адуляр-кварцевый тип* – связан с экструзивно-эффузивными образованиями риолит-трахириолитовой, базальт-андезит-дацит-риолитовой и других формаций, отчасти с синхронными молассоидными образованиями в пределах рифтогенных впадин. Рудные тела присутствуют в виде жил, жильных тел, жильных и жильно-прожилковых зон, штокверков. Метасоматиты представлены пропилитами, аргиллизитами, вторичными кварцитами, кварцсерицит-гидрослюдистыми породами. Месторождения: Балей, Карамкен, Кубака, Агинское, Многовершинное.

*Золото-серебро-адуляр-кварцевый тип* – связан с андезит-гранодиоритовой, гранит-лейкогранитовой вулканоплутонической ассоциацией в пределах вулканокупольных структур. Рудные тела – той же формы. Метасоматиты представлены эпидот-хлорит-альбитовыми пропилитами, кварц-адуляр-серицитовыми породами. Месторождения: Дукат, Многовершинное, Джульетта.

2. *Месторождения в вулканогенно-осадочных и интрузивных структурно-вещественных комплексах.* С этими комплексами связано 17,4 % запасов и 31,8 % прогнозных ресурсов коренного золота. Выделены типы следующих месторождений.

*Золото-полисульфидно-кварцевый тип* – рудоносными и рудовмещающими комплексами являются гранитоиды адамеллит-плагиогранитной, тоналит-гранодиоритовой, габбро-диорит-гранодиорит-гранитной формаций, комплексы малых интрузий и даек «пестрого» состава. Рудные тела – жилы, жильно-прожилковые минерализованные зоны, штокверки. Метасоматиты – кварц-серицитовые, кварц-серицит-хлоритовые, березиты, листовениты. Месторождения: Березовское, Кочкарское, Дарасунское, Степняк (Казахстан), Бамское и др.

*Золото-скарновый тип* – связан с габбро-диорит-гранодиоритовой формацией. Рудные тела представлены жилами сложной формы, линзовидными обособлениями. Метасоматиты – магнезиальные и известковистые скарны, скарноиды, кварц-серицит-хлоритовые. Месторождения: Круглогорское, Синюхинское.

*Золото-порфировый тип* – связан с многофазными массивами диоритов, гранодиоритов, штоками монцонитов, плагиогранит-порфиров. Рудные тела представлены жильно-прожилковыми зонами, штокверками, зонами прожилково-вкрапленной минерализации. Метасоматиты – кварц-калишпатовые, кварц-калишпат-биотитовые, кварц-серицит-биотитовые. Месторождения: Васильковское, Юбилейное (Казахстан), Быньговское.

3. *Месторождения в углеродисто-терригенных структурно-вещественных комплексах.* На них приходится 62,4 % запасов коренных месторождений золота и 33,7 % прогнозных ресурсов. Включает в себя ряд типов.

*Золото-сульфидный тип* – связан с комплексом малых интрузий и даек «пестрого» состава среди углеродсодержащих терригенных, терригенно-карбонатных, терригенно-вулканогенных толщ. Рудные тела – минерализованные зоны, межформационные залежи.

Метасоматиты (слабопроявленные) – кварц-серицит-хлоритовые, кварц-карбонат-серицитовые, углеродистые. Месторождения: Олимпиадинское, Майское, Нежданинское, Сухой лог, Бакырчик (Казахстан), Даугызтау (Узбекистан), Кировское, Камское.

*Золото-кварцевый тип* – распространен в терригенных, терригенно-карбонатных породах, метаморфических комплексах порой вне видимой связи с гранитоидами. Рудные тела представлены отдельными жилами, системами сближенных жил, жильно-прожилковыми зонами. Метасоматиты – кварц-серицитовые, кварц-серицит-хлоритовые. Месторождения: Наталкинское, Советское, Эльдорадо, Каральвеемское, Дуэтское.

Кроме перечисленных ведущих геолого-промышленных типов золото извлекается из целого ряда иных типов месторождений, в том числе: а) золотоносных химических кор и окисленных руд; из них добывали в России на 2002 г. 3,4 % от всего получаемого металла, а в мире – 1,9 %; б) месторождений золотосодержащих комплексных руд – 28,8 % в России и 14,3 % в мире; в) золотоносных россыпей – 17,8 % в России и 3,95 % в мире.

### ***2.3.5. Последовательность проведения поисковых работ на основе прогнозно-поисковых комплексов***

Система проведения прогнозно-поисковых работ опирается на выявленные поисковые критерии и признаки, позволяющие выделять и оконтуривать перспективные площади определенного металлогенического ранга, эквивалентные конкретным геологическим объектам. Известно, что прогнозно-поисковые комплексы (ППК) по содержанию, сочетанию методов и очередности их проведения соответствуют стадийности геологоразведочного процесса. В них реализуется принцип последовательного сокращения площадей поисковых работ от стадии к стадии при повышении детальности работ. Эффективность ППК основана на соответствии металлогенических единиц, являющихся объектами прогнозирования и поисков, видам и методам работ для определенной стадии геологоразведочного процесса, а также результатам работ, выраженным прогнозными ресурсами определенных категорий.

*Прогнозно-металлогенические исследования* на основе региональных геофизических и геологических работ масштаба 1:200000 имеют целью выделение перспективных геологических структур,

отвечающих *потенциальным золоторудным районам*. В ходе этих работ должны быть обоснованы критерии и признаки золоторудной минерализации с оценкой прогнозных ресурсов по категории  $P_3$ .

Задачей *поисковых работ* масштаба 1:50000 является выделение по совокупности геологических, геофизических и иных материалов *потенциальных рудных полей*, а также определение вероятного геолого-промышленного типа оруденения, возможного его масштаба. При выполнении работ следует установить комплекс рудоконтролирующих факторов, определяющих перспективность выделенных площадей, их локализацию в пределах золоторудного района с геолого-экономической оценкой прогнозных ресурсов категории  $P_2$ .

Проведение более *детальных поисковых работ* масштаба 1:10000-1:5000 осуществляется на площадях уже известных (или потенциальных) рудных полей. Основной задачей является выявление в пределах рудного поля перспективных участков, отвечающих *потенциальным месторождениям*. В результате работ устанавливается наличие рудных тел, их вещественный состав; ориентировочно определяются параметры, необходимые для оценки прогнозных ресурсов категории  $P_2$ . По отдельным рудным телам, удовлетворяющим требованиям кондиций месторождений, могут быть оценены ресурсы категорий  $P_1$ .

Проведение *оценочных работ* основывается на анализе полученных материалов и разбраковке выделенных участков по степени перспективности. Задачей при этом является оконтуривание рудных тел в пределах участков, определение условий залегания минерализованных залежей, установление масштаба и геолого-промышленного типа месторождения, предварительная технологическая оценка руд и горнотехнических условий эксплуатации объекта. Проведенные работы должны обеспечить перевод прогнозных ресурсов категории  $P_2$  в категорию  $P_1$ , а по наиболее изученным рудным телам подсчитываются запасы по категории  $C_2$ . По результатам оценочных работ на основе выполненных технико-экономических расчетов обосновывается возможность проведения разведки месторождения.

Обобщая изложенный выше материал, следует подчеркнуть, что исходной предпосылкой прогнозирования служит *принцип геологической аналогии*. Он используется для определения позиции месторождений по геологической ситуации, а также для определе-

ния качественных и количественных параметров прогнозных ресурсов. Научно-методической основой применения принципа геологической аналогии являются *прогнозно-поисковые модели* (ППМ) разноранговых объектов прогноза. ППМ представляют собой описательные классификационно-признаковые модели металлогенических таксонов, состоящие из сопряженных и соподчиненных элементов рудоносного пространства, определяющих геологические обстановки, раскрывающие их прогнозно-поисковые критерии, характеризующие наличие и степень проявления рудоформирующих процессов. Они позволяют вычленять перспективные площади из общего геологического пространства.

На основе разработанных ППМ предлагается к реализации *прогнозно-поисковый комплекс* (ППК), представляющий собой систему проведения поисковых работ и содержащий определенный набор поисковых критериев и признаков, позволяющих выделить и оконтурить перспективные площади различного металлогенического ранга. Эффективность использования на практике ППК обеспечивается полнотой соблюдения принципа последовательных приближений и соответствия между стадией геологоразведочных работ и объектами прогноза, а также между объектами и определяющими их признаками, между признаками и выявляющими их методами.

На основе разработанной в ЦНИГРИ ППМ формирования золотого оруденения в углеродисто-терригенных структурно-вещественных комплексах предложен ППК. Он учитывает влияние на формирование золоторудной минерализации как экзогенных, так и эндогенных факторов (табл. 7).

Таблица 7

**Общая последовательность работ на основе  
прогнозно-поискового комплекса  
для месторождений золото-углеродистой формации  
(по материалам ЦНИГРИ, 2002)**

Стадия, вид работ, их масштаб	Факторы рудогенеза (критерии), поисковые признаки	Методы работ	Объекты прогноза и поисков
ГСР – 200, составление специализированных на золото прогнозно-	Терригенный этап, углеродистые терригенные формации. Макроритмы в толще осадочных пород,	Геологическое картирование в масштабе 1:200000. Структурно-формационный	Рудный район, прогнозные ресурсы категории $P_3$

<p>металлогенических карт в масштабе 1:500000 – 1:200000</p>	<p>интервалы литологических неоднородностей разреза. Орогенные впадины. Пояса даек, штоков, надинтрузивные зоны. Аномалии гравиметрического и магнитометрического полей. Разломы глубокого заложения, системы блоков в основании терригенного этажа. Геохимические и шлиховые ореолы, россыпи, рудопроявления золота, мышьяка, сурьмы, свинца, цинка, вольфрама, меди</p>	<p>анализ. Дешифрирование космо- и аэрофото-материалов. Гравиметрическая и магнитометрическая съемка. Построение региональных геолого-геофизических моделей в масштабе 1:500000 – 1:200000. Металлогеническое районирование. Выявление зон рудовмещающих дислокаций на основе региональных геофизических моделей</p>	
--	---	--	--

Продолжение таблицы 7

Стадия, вид работ, их масштаб	Факторы рудогенеза (критерии), поисковые признаки	Методы работ	Объекты прогноза и поисков
<p>Масштаб 1:50 000</p>	<p>Зоны рудовмещающих дислокаций (преимущественно дискордантные, многоэтапные, зональные). Асимметричные пликативные структуры. Региональные разломы первого и второго порядков.</p>	<p>Геологическая съемка в масштабе 1:50000. Геохимическая съемка. Шлиховая минералого-геохимическая съемка. Геолого-геофизические модели рудных районов в</p>	<p>Потенциальное рудное поле, прогнозные ресурсы категории <math>P_2</math></p>

	<p>Продуктивные фации орогенных впадин (прибрежно-морские, лагунные), терригенно-хемогенные. Магматические ассоциации габбро-диорит-гранодиоритового состава, поля контактовых роговиков, даек, скрытые гранитоидные массивы.</p> <p>Линейные аномалии в гравиметрических, магнитометрических и электрических полях.</p> <p>Отражающие поверхности на сейсмических профилях.</p> <p>Геохимические аномалии мышьяка, сурьмы, цинка, свинца, серебра, золота.</p> <p>Проявления золото-кварцевой минерализации (арсенопирит, пирит, пирротин)</p>	<p>масштабе 1:50000.</p> <p>Типизация зон рудовмещающих дислокаций</p>	
--	---	--	--

Продолжение таблицы 7

Стадия, вид работ, их масштаб	Факторы рудогенеза (критерии), поисковые признаки	Методы работ	Объекты прогноза и поисков
Масштаб 1:10000 – 1:5000	<p>Внутреннее строение зон рудовмещающих дислокаций.</p> <p>Типы дислокаций: в системе сопряженных разрывов, в узлах пересечения разрывов, в системе сближенных разрывов, тектонических линзах, в центральных частях блоков.</p> <p>Главные элементы структур рудных полей: тектонические линзы в осевой зоне, экрани-</p>	<p>Геолого-структурное изучение продуктивных интервалов зон рудовмещающих дислокаций (рудных полей) в масштабе 1:25000 – 1:10000.</p> <p>Геохимические поиски. Шлиховые минералого-геохи-</p>	<p>Потенциальное месторождение, поисковый участок, прогнозные ресурсы категории <math>P_2</math>, (<math>P_1</math>)</p>

	<p>рующие разрывы в зоне надвига, пересекающиеся разломы, межслоевые дислокации в блоках. Дайки, штоки различного состава, частью лиственитизированные, березитизированные.</p> <p>Кварц-сульфидные вкрапленные руды с дисперсным золотом. Участки прокварцевания, серицитизации, карбонатизации осадочных пород. Геохимические, шлиховые контрастные ореолы золота, мышьяка, олова, свинца, меди, вольфрама</p>	<p>мические поиски.</p> <p>Литологическое изучение осадочных пород.</p> <p>Геофизические поиски в наземном и аэровариантах: гравиразведка, магниторазведка, аэроэлектроразведка ДИП-А, сейсморазведка МОВ.</p> <p>Построение геолого-геофизических моделей рудных полей в масштабе 1:50000 – 1:25000.</p> <p>Определение промышленного типа оруденения.</p> <p>Выбор системы разведочных работ.</p> <p>Технико-экономические расчеты по предварительным оценочным параметрам</p>	
--	--	--	--

Продолжение таблицы 7

Стадия, вид работ, их масштаб	Факторы рудогенеза (критерии), поисковые признаки	Методы работ	Объекты прогноза и поисков
Масштаб 1:2000 – 1:1000	<p>Сочетания экранирующих поверхностей (милонитовых швов, пологих разрывов и др.) с участками повышенной проницаемости.</p> <p>Кварцевые метасоматические тела, серии жил, штокверки, системы прожилков</p>	<p>Геолого-структурное, минералогическое, геохимическое изучение месторождений в масштабе 1:10000 – 1:5000.</p> <p>Фотогеологическая документация горных выработок.</p> <p>Изучение углеродистых веществ, изотоп-</p>	Промышленные рудные тела, прогнозные ресурсы; категории $P_1+C_2$

	<p>в зонах тектонитов. Прожилково-вкрапленная кварцево-сульфидная минерализация (1-5 % сульфидов), золотосодержащие метасоматические сульфиды – арсенопирит и пирит. Вкрапленные тонко- и мелкозернистые сульфиды (арсенопирит, пирит, пирротин), содержащие <math>n \cdot 10 - n \cdot 100</math> г/т золота</p>	<p>ный анализ серы, углерода. Составление схемы зональности оруденения. Наземные и скважинные геофизические исследования (ЕП, ВП-РС, ИНФАЗ-ВП, кажущейся поляризации, электросопротивления, сейсморазведка, ПЭЭФ)</p>	
<p>Масштаб 1:2000- 1:1000</p>	<p>Прожилково-вкрапленная кварцево-сульфидная минерализация: галенит, сфалерит, блеклые руды, сульфосоли, самородное золото.</p>	<p>Технологические лабораторные исследования руд. Технологическая и морфологическая типизация тел</p>	<p>То же (см. выше)</p>

Окончание таблицы 7

<p>Стадия, вид работ, их масштаб</p>	<p>Факторы рудогенеза (критерии), поисковые признаки</p>	<p>Методы работ</p>	<p>Объекты прогноза и поисков</p>
	<p>Повышенное содержание <math>C_{орг.}</math> в тектонитах, кериты и антраксолиты в минеральных ассоциациях, концентрации золота в битумидах и в нерастворимой части <math>n \cdot 1 - n \cdot 10</math> г/т. Локальные геохимические ореолы золо-</p>		

	та, сурьмы, мышьяка, цинка, свинца, меди. Локальные аномалии в гравиметрических, магнитных, электрических полях		
--	--	--	--

Последовательность проведения работ на основе предложенного ППК выглядит следующим образом.

Региональные геологосъемочные работы масштаба 1:200000 проводятся с целью выделения перспективных геологических структур, отвечающих потенциальным рудным районам. В ходе выполненных работ обосновываются прогнозные ресурсы категории  $P_3$ .

При проведении прогнозно-поисковых работ масштаба 1:50000 на основе выявленных рудоконтролирующих факторов определяются контуры потенциальных рудных полей, устанавливается вероятный геолого-промышленный тип оруденения. Оцениваются прогнозные ресурсы по категории  $P_2$ , по укрупненным показателям выполняется их геолого-экономическая оценка.

Проведение более детальных поисковых работ масштаба 1:10000-1:5000 осуществляется на площадях рудных полей (как известных, так и потенциальных) с целью выявления на перспективных участках оруденения, отвечающего потенциальному месторождению. Устанавливается наличие рудных тел, определяются их ориентировочные параметры, необходимые для оценки прогнозных ресурсов категорий  $P_2$ , а по отдельным рудным телам по категории  $P_1$ .

Выполнение оценочных работ (масштаб 1:2000-1:1000 и др.) основывается на анализе собранного материала и разбраковке прогнозируемых участков по степени их перспективности. Задачами являются: оконтуривание рудных тел, выявление условий залегания, установление геолого-промышленного типа, предварительная технологическая оценка горнотехнических условий эксплуатации, перевод прогнозных ресурсов категории  $P_2$  в  $P_1$ , подсчет запасов по категории  $C_2$  по наиболее изученным рудным телам. Целесообразность разведки объекта должна быть обоснована технико-экономическими расчетами.

Несколько иной тип рудоконтролирующих факторов и поисковых признаков отражен в ППК для месторождений золото-

сульфидно-кварцевой формации. При этом ограничимся рассмотрением лишь завершающих стадий геологоразведочного процесса (табл. 8).

Таблица 8

**Общая последовательность работ на основе  
прогнозно-поискового комплекса для месторождений  
золото-сульфидно-кварцевого типа  
(по материалам ЦНИГРИ, 2002)**

Стадия работ, масштаб	Факторы рудогенеза (критерии), поисковые признаки	Методы работ	Объекты прогноза и поисков
Прогнозно-поисковые работы М 1:50000	Гранитоидные массивы амагматической плагиогранитной формации различной степени эродированности. Скрытые разломы фундамента. Поля и пояса контрастных по составу даек (лампрофиров, диоритов с порфировой структурой, гранит-порфиров и т. д.).	Геологическое картирование М 1:50000 с комплексом поверхностных выработок. Комплексная геофизическая съемка М 1:50000-1:25000 (магнитометрия, гравиметрия, гамма-спектроскопия). Электроразведка (ВП, ЕП, ЭП, ДИП, ВЭЗ). Скважинная геофизика (ЭП, МСК, КС, МЭП,	Потенциальное рудное поле, прогнозные ресурсы категории $P_2$

Продолжение таблицы 8

Стадия работ, масштаб	Факторы рудогенеза (критерии), поисковые признаки	Методы работ	Объекты прогноза и поисков
	Локальные метасоматиты березит-лиственитовой формации, зоны окварцевания, турмалинизации. Россыпи и шлиховые ореолы золота. Комплексные минералого-геохимические аномалии. Газортутные ореолы. Аномалии золота и элементов-спутников.	радиометрический каротаж). Дешифрирование аэрофотоматериалов. Шлиховой метод, шлихогеохимия. Литохимическая съемка. Газортутная съемка. Структурно-поисковые скважины. Опробование рудных выходов, гидротермально измененных пород	

	Электро- и радиометрические аномалии. Пункты минерализации, рудные выходы		
Поисковые работы М 1:10000-1:5000	Спектрозолотометрические аномалии. Комплексные литогеохимические ореолы Ag, As, Bi, Cu, Pb, Sb. Золотоносные метасоматиты березит-лиственитовой формации. Выявленные рудоносные каркасы даек. Установленные системы рудовмещающих разрывных нарушений. Системы линейных, локальных магнитных и гравитационных аномалий. Аномалии радиометрические, поляризуемости.	Геологическое картирование М 1:10000 на инструментальной основе с комплексом поверхностных выработок. Высокоточная магнитометрическая съемка. Гравиметрическая съемка. Электроразведочные работы методом ВП, ЕП, ДИП. Скважинные геофизические исследования. Литохимические поиски, спектрозолотометрия. Шлиховая минералого-геохимическая съемка.	Потенциальное месторождение, поисковый участок, прогнозные ресурсы категории $P_2(P_1)$

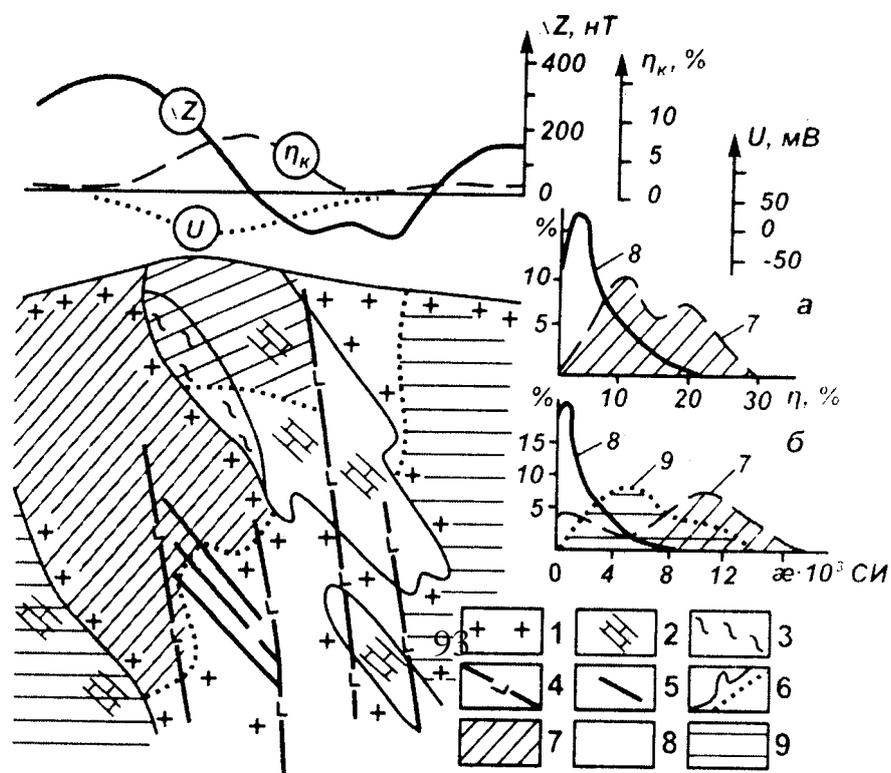
Окончание таблицы 8

Стадия работ, масштаб	Факторы рудогенеза (критерии), поисковые признаки	Методы работ	Объекты прогноза и поисков
	Выявленные ориентировочные параметры рудных тел (протяженность, мощность, содержание золота)	Вскрытие рудных тел редкой сетью поверхностных выработок и неглубоких (до 100 м) скважин, их опробование. Минералого-петрографические исследования рудных тел и метасоматитов	
Оценочные работы М 1:2000–	Обоснование границ объекта (месторождения).	Геологическое картирование М 1:5000-1:2000 на инструментальной	Выявленные рудные тела, про-

1:1000	<p>Выявленные системы рудовмещающих и рудоконтролирующих элементов структуры месторождения.</p> <p>Обоснование комплекса благоприятных для локализации оруденения пород.</p> <p>Золотоносные метасоматиты.</p> <p>Выявленная геологическая позиция рудных тел.</p> <p>Параметры зоны окисления.</p> <p>Выявленное распределение золота в главных рудных телах.</p> <p>Вещественный состав, обогатимость, комплексность руд</p>	<p>основе.</p> <p>Вскрытые и прослеженные рудные тела поверхностными выработками, единичными наклонными скважинами глубиной до первых сотен метров.</p> <p>Опробование (все виды).</p> <p>Геофизические методы: высокоточная магнитометрия, электроразведка (ИНФАЗ-ВП, ВЭЗ-ВП, РСВП).</p> <p>Скважинная геофизика (ЕП, ДРП, МЭП, МЭК), картаж.</p> <p>Малообъемное технологическое опробование, минализ руд и тяжелой фракции протолочек</p>	<p>гнозные ресурсы категории <math>P_1</math> и запасы <math>C_2</math></p>
--------	--	--	---

Рассмотрим ряд примеров, раскрывающих геологическую позицию некоторых золоторудных объектов различных рудно-формационных типов и их отражение в минералого-геохимических и физических полях. На основе анализа этих полей и обосновывается методика проектируемых поисковых работ.

В пределах Ольховско-Чибижекского рудного поля (Восточ-



ный Саян) проявлена золоторудная минерализация скарнового и также кварцево-сульфидного жильного и штокверкового типов [12, 13]. Рудоносная зона приурочена к северному контакту Шиндинского гранитоидного массива раннепалеозойского возраста. В восточной части площади проявлены сложные взаимоотношения физических полей и рудно-метасоматических зон. В обрамлении плутона терригенно-карбонатные породы графитизированы, что нашло отражение в аномалиях вызванной поляризации (рис. 12). Рудные поля различаются по степени намагниченности.

Рис. 12. Физико-геологический разрез золоторудного месторождения в пределах Ольховско-Чибижекского рудного поля (по А. Ф. Коробейникову):

1 – граниты, гранодиориты; 2 – известняки; 3 – роговики;  
5 – кварцево-сульфидные золотоносные жилы; 6 – границы петрографических (а) и петрофизических (б) разновидностей пород; 7 – повышенно-магнитные гранитоиды и графитизированные породы; 8 – пониженно-магнитные гранитоиды и скарнированные вмещающие породы; 9 – породы за пределами изменений;  
а – б – вариационные кривые вызванной поляризуемости пород (а) и магнитной восприимчивости (б); приведены графики изменения магнитного поля ( $\Delta Z$ ), естественной ( $U$ ) и вызванной ( $\eta_k$ ) электрических поляризации

Контактово-метасоматические залежи золото-пирротин-медно-сульфидного состава обладают повышенной магнитной восприимчивостью. Разведочными скважинами они прослежены до глубины 300 м. Кварцево-золото-сульфидные тела (без пирротина) слабо магнитные, сопровождаются зонами березитизации. Области их распространения находят отражение в полях электрической поляризации.

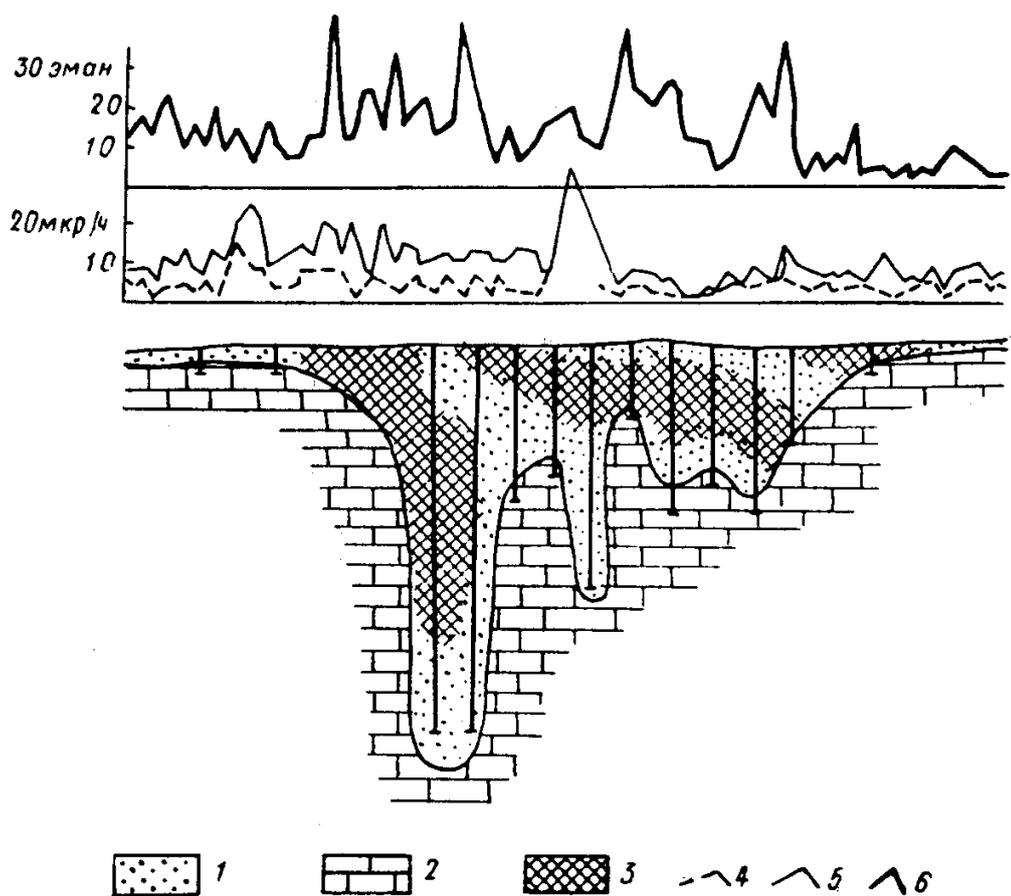


Рис. 13. Результаты гамма- и эманационной съемки на золоторудном месторождении «куранахского типа» (по А. А. Фельдману):

1 – рыхлые песчано-глинистые отложения в карсте; 2 – известняки;  
 3 – золотоносные зоны; графики гамма-активности при замерах:  
 4 – на поверхности, 5 – в шпурах на глубине 1 м; 6 – график эманационной съемки

В пределах Алданского кристаллического щита известны своеобразные по составу и строению месторождения «куранахского» типа, связанные с зонами глубокого заполненного карста (до 20-40 м) в толще горизонтально залегающих карбонатных пород раннекембрийского возраста. Выполняют карст песчано-глинистые отложения с обломками песчаников, известняков и окварцованных

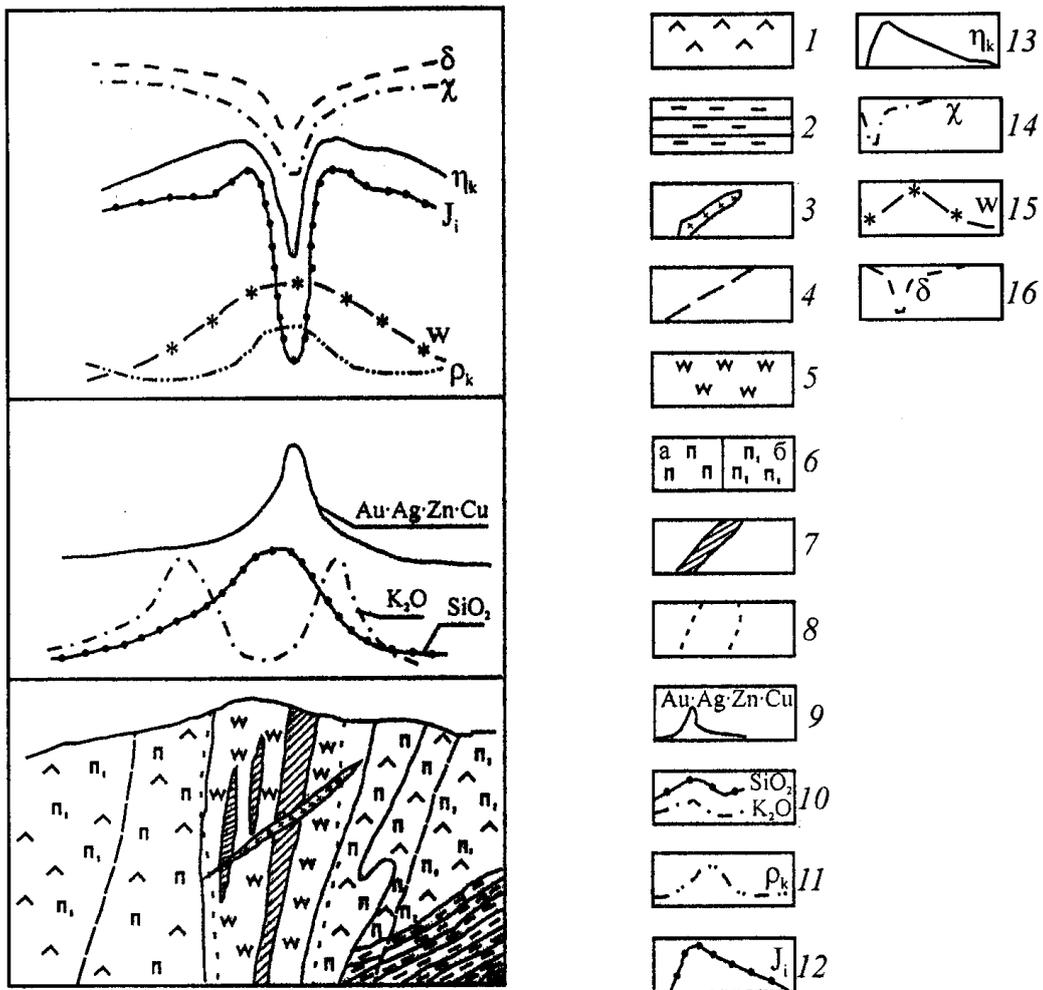


Рис. 14. Геолого-геофизическая модель золото-серебряно-кварцевого месторождения (по В. П. Новикову, М. С. Михайловой):

- 1 – андезиты субвулканических фаций; 2 – песчано-алевролитовая толща; 3 – дайки диоритов; 4 – зоны дробления; 5 – кварц-гидрослюдистые метасоматиты; 6 – пропилиты низкотемпературные (а), среднетемпературные (б); 7 – рудные тела; 8 – зона сульфидной вкрапленности; 9 – график изменения рудных элементов; 10 – графики петрогенных элементов; 11 – электросопротивление; 12 – естественная радиоактивность; 13 – вызванная поляризация; 14 – магнитное поле; 15 – пьезоэлектрические свойства; 16 – диэлектрическая проницаемость

карбонатных пород (джаспероидов). Рудные тела имеют пластообразную и более сложную форму. Для прослеживания зон глубокого карста был задействован комплекс геофизических методов, включающий электропрофилирование и ВЭЗ [28]. Магниторазведка позволила определить участки распространения даек изверженных пород (к которым пространственно и тяготеет золотое оруденение). Рудоносные тела обладают слабой радиоактивностью. С целью оценки золотоносности на площади применена эманационная съемка. Наилучшие результаты замеров гамма-активности получены

в шпурах на глубине 1 м. Рудоносные тела проявили себя на закарстованных участках, где они наиболее близко подходят к дневной поверхности (рис. 13). С учетом полученных сведений были заданы разведочные скважины.

Одно из месторождений золото-адуляр-кварцевого типа на северо-востоке страны располагается в пределах вулканотектонического грабена, выполненного андезитами, глинисто-сланцевыми породами и обрамленного разрывными нарушениями. Рудные тела представлены кварцевыми, кварц-карбонатными жилами, сопровождаются метасоматитами зонального строения. Располагающиеся в центральной части кварц-гидрослюдистые метасоматиты сменяются к периферии пропилитами низкотемпературными, а затем среднетемпературными (рис. 14). Над рудными зонами прослеживаются положительные аномалии мультипликативного показателя ведущих рудогенных элементов (Au·Ag·Zn·Cu) и  $\text{SiO}_2$ , над кварц-гидрослюдистыми соматитами – положительные аномалии  $\text{K}_2\text{O}$  и отрицательные над кварцевыми жилами. Также проявлены положительные геофизические аномалии над рудоносной зоной – электросопротивления и пьезоэлектрических параметров, отрицательные – магнитного поля и гравиметрического (в региональном плане), вызванной поляризации, естественной радиоактивности. Очевидно, что в случае необходимости рациональный комплекс поисковых методов также может включать шлиховое опробование, шлихогеохимию.

### ***2.3.6. Разведка золоторудных месторождений***

#### *Систематика месторождений для целей разведки*

По морфологическим особенностям, условиям залегания и внутреннему строению рудных тел, характеру распределения в них металла эндогенные золоторудные месторождения могут быть подразделены на следующие типы: штокверки, минерализованные и жильные зоны, жилы, залежи сплошных и вкрапленных руд, трубообразные и неправильной формы залежи и гнезда.

*Штокверки* образованы большим количеством различно ориентированных, невыдержанных по форме и неравномерно распределенных маломощных кварцевых жил и тонких прожилков, а также вкрапленной сульфидной минерализацией. Обычно имеют значительные размеры по площади и на глубину. Локализуются ме-

сторождения в метаморфизованных песчано-сланцевых толщах (нередко углеродсодержащих), реже в изверженных породах среднего состава, субвулканических породах кислого состава. В пределах штокверков к зонам разломов могут быть приурочены невыдержанные по мощности жилы сложной формы. Участки с промышленными рудами в штокверках не имеют геологических границ и выявляются по данным опробования.

*Минерализованные и жильные зоны* представляют собой участки тектонически нарушенных и гидротермально измененных пород (терригенно-осадочных, вулканогенно-осадочных), а также сближенные субпараллельные кварцевые жилы, линзы прожилковой формы в тех же комплексах пород. Характерны линейно-вытянутые формы, значительные мощности (от 5-10 до 50 м и более), отсутствие четких геологических границ рудных тел (определяемых лишь по данным опробования). Прожилково-вкрапленные руды относятся к золото-серебряной, золото-сульфидно-кварцевой и золото-кварцевой формациям.

*Месторождения жильной формы* могут быть представлены как единичными жилами большой протяженности, так и несколькими разобщенными жилами или системой относительно коротких жил. Во всех случаях каждая жила является самостоятельным рудным телом. Наиболее многочисленны жильные месторождения золото-кварцевой формации в песчаниково-флишоидных толщах, где длина рудных тел может изменяться в широких пределах (от десятков и сотен метров до первых километров). Рудные тела золото-кварцевой и золото-сульфидно-кварцевой формаций в интрузивных массивах обычно представлены жилами значительной протяженности (до 1 км) как по простиранию, так и по падению. Жильные месторождения среди эффузивов молодого возраста и субвулканических образований кислого-среднего состава относятся к близповерхностному типу и принадлежат к золото-серебряной формации. Протяженность рудных тел достигает сотен метров. По составу руды часто являются комплексными (золото-медными, золото-сурьмяными, золото-полиметаллическими).

*Залежи* имеют различную форму: линзовидную, жилеобразную и более сложную. Образованы золотосодержащими пирит-халькопиритовыми, пирит-пирротиновыми, полиметаллическими и иными (баритовыми, магнетитовыми) сплошными и вкрапленными рудами. Кроме того, залежи могут быть представлены вторичными

кварцитами, кварц-слюдистыми, кварц-марганцовистыми и иными породами с вкрапленным и прожилково-вкрапленным оруденением. Руды также являются комплексными.

*Трубообразной и непрерывной формы* залежи и гнезда свойственны скарновым месторождениям. Имеют ограниченное распространение.

*Оруденелые дайки* могут рассматриваться как самостоятельный морфологический тип месторождений. Оруденение в них приурочено к системе кварцевых или кварц-сульфидных прожилков, выполняющих поперечные трещины, либо к тонким кварцевым жилам и прожилкам, совпадающим с продольной трещиноватостью даек. Золото концентрируется в основном в кварцевых жилах и прожилках при низком его содержании в самих породах даек.

Значительный по объему класс золоторудных объектов представляют *экзогенные месторождения*. К ним отнесены обогащенные золотом «железные шляпы» сульфидных месторождений и коры выветривания по золотоносным минерализованным зонам.

*Группировка месторождений по сложности геологического строения для целей разведки*

По размерам и форме рудных тел, изменчивости их мощности и внутреннего строения, особенностям распределения золота месторождения соответствуют 2-й, 3-й и 4-й группам.

*2-я группа* – месторождения (участки) сложного геологического строения, представленные:

- крупными минерализованными и жильными зонами протяженностью более 1 км при мощности 5-10 м и более (Сухой Лог, Нежданинское, сульфидные руды Восточного участка Олимпиадинского месторождения, Хаканджинское, Бакырчик в Казахстане);

- штокверками площадью около 1 км<sup>2</sup> (Мурунтау, Узбекистан, часть месторождения Кумтор, Киргизия) и др.;

- протяженными залежами размером 1-3 км по простиранию, первые сотни метров по падению с устойчивыми мощностями от первых метров и более (крупные залежи месторождения Кокпатасс, Узбекистан);

- протяженными (более 1 км) жилами с выдержанными мощностями более 1 м (месторождение Акбакайское, Казахстан);

- остаточными корами выветривания с изометричными в объеме залежами длиной 400-650 м, шириной 270-350 м, вертикальным

размером до 400 м (окисленные руды Восточного участка Олимпиадинского месторождения).

Во всех типах золоторудных месторождений благороднометалльная минерализация распределена неравномерно.

*3-я группа* – месторождения (участки) очень сложного геологического строения, представленные:

- жилами изменчивой мощности сложного строения с неравномерным, порой прерывистым оруденением. Включают в себя средние и крупные по масштабу минерализованные зоны с рудными телами мощностью 3-5 м и более (Майское и Зун-Холбинское, Кызилалма, Узбекистан; Макмал, Киргизия);

- жильными зонами с рудными телами мощностью 1-2 м и более (Кубака, Покровское, Эльдorado, Советское, Многовершинное);

- залежами с рудными телами мощностью 1-2 м и более (сульфидные руды Воронцовского и Светлинского месторождений, Лебединое; Даугызтау в Узбекистане);

- протяженными (до 1 км и более) жилами мощностью первые десятки сантиметров, а также короткими жилами (до первых сотен метров) с изменчивой мощностью (Дарасунское, Агинское, Карамкенское);

- оруденелыми дайками (Березовское) и рудными столбами (Джеруй, Киргизия);

- остаточными и переотложенными корами выветривания (окисленные руды Воронцовского, Гагарского, Светлинского, Куранахского месторождений).

*4-я группа* – месторождения очень сложного геологического строения. Включают в себя мелкие по размерам (протяженность первые десятки метров) единичные или очень маломощные (до 0,3-0,4 м) жилы, линзы; небольшие (протяженностью до 100 м) жилы, линзы, минерализованные зоны с резко изменчивой мощностью, интенсивно нарушенным залеганием тела с чрезвычайно сложным, гнездообразным распределением рудных скоплений: месторождения Коммунарское, Кочбулак (Узбекистан); отдельные мелкие гнездо-, линзо-, столбообразные залежи окисленных руд в карстовых депрессиях (Куранахская группа месторождений).

При отнесении месторождения к той или иной группе могут быть использованы количественные характеристики изменчивости основных свойств оруденения (см. табл. 3).

### *Требования к методике разведки золоторудных месторождений*

Основные требования, предъявляемые к разведваемым золоторудным месторождениям [15, 22], во многом идентичны тем, что были уже изложены ранее в разделах, посвященных разведке железорудных и меднорудных месторождений. Остановимся на рассмотрении лишь основных вопросов.

По разведанному месторождению необходимо иметь топографическую основу масштаба 1:1000-1:5000, геологическую карту того же масштаба и прилагаемые к ней геологические разрезы, планы, проекции. Геологические и геофизические материалы должны давать представление о размерах и форме рудных тел, условиях их залегания, внутреннем строении, взаимоотношениях рудных тел с вмещающими породами, структурными элементами и т. д. Следует обосновать геологические границы месторождения, поисковые критерии, определяющие местоположение перспективных участков.

Выходы на поверхность части золоторудных тел должны быть изучены горноразведочными выработками (канавами, шурфами, шурфами с рассечками), пройденными по простиранию рудных тел, и неглубокими скважинами. Они должны установить морфологию и условия залегания рудных тел, глубину развития зоны окисления. С учетом этих данных подсчитывают запасы, оценивают технологические свойства первичных, смешанных и окисленных руд.

Разведка на глубину проводится скважинами с использованием геофизических методов. В качестве примера рассмотрим Натальевское золото-скарновое месторождение, располагающееся в Мариинской тайге. Месторождение размещается в зоне Кузнецко-Алтайского глубинного разлома. Приурочено к вулканогенно-осадочным породам. Висячем боку разлома располагаются гранитоидные массивы, с которыми связаны скарновые и жильно-штокверковые золоторудные месторождения [11]. На центральном участке месторождения скарновые тела диопсид-тремолитового, гранат-пироксенового и иного состава залегают в доломитах с линзами диабазов, андезибазальтов. Кварц-сульфидная минерализация (с Au, Bi, Fe, Cu) вкрапленно-штокверкового типа в основном сосредоточена в их пределах. При оценке месторождения была задействована система, опирающаяся на использование разведочного бурения (рис. 15).

К разведочному бурению предъявляется ряд требований [22]:

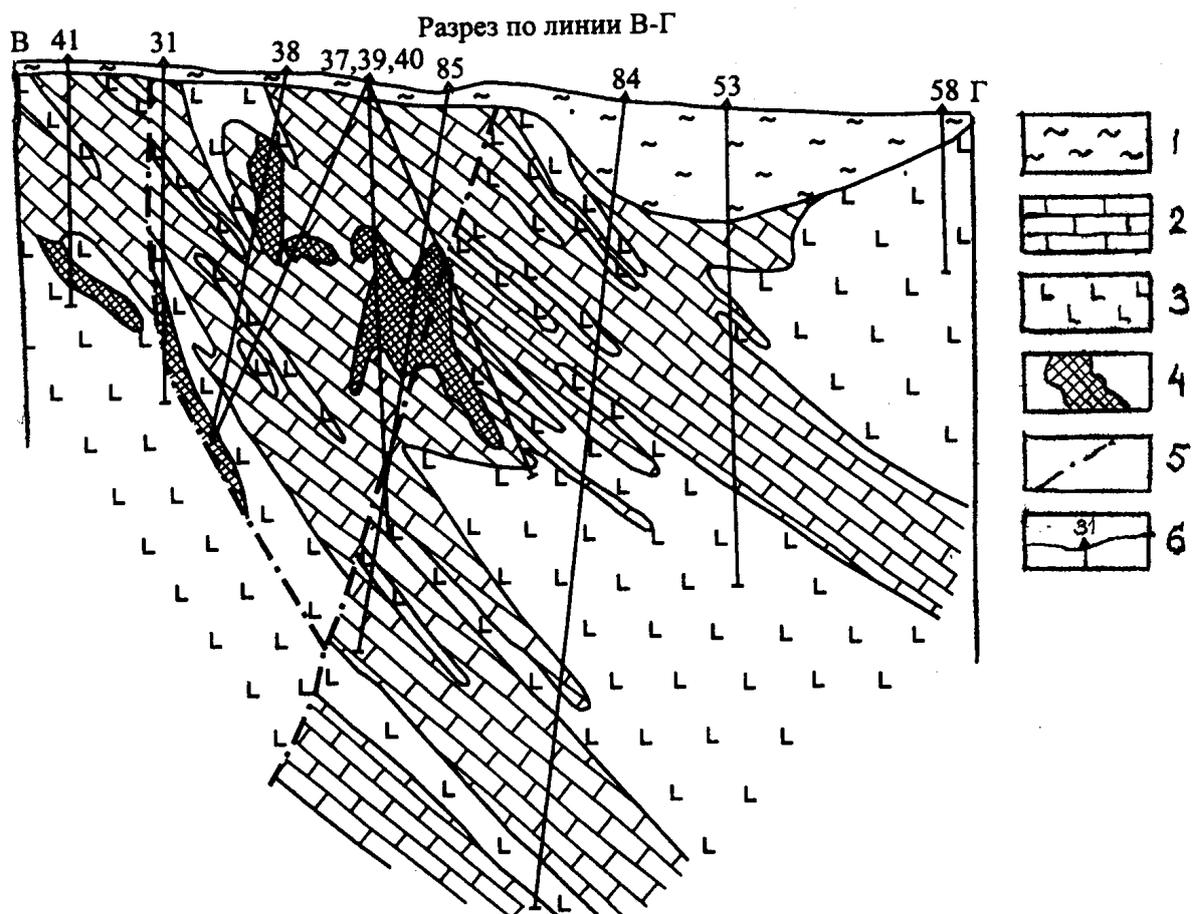


Рис. 15. Буровая система разведки на Натальевском золото-скарновом месторождении (по А. Ф. Коробейникову):

1 – песчано-глинистые покровные отложения; 2 – мраморы апоизвестковые, аподоломитовые (С); 3 – диабазы, андезитобазальты; 4 – известковые скарны с вкрапленной золото-кварц-сульфидной минерализацией; 5 – разрывные нарушения; 6 – колонковые скважины

По скважинам колонкового бурения должен быть получен максимальный выход керна не менее 80 % по каждому рейсу. Достоверность определения линейного выхода керна следует систематически контролировать весовым или объемным способами. При низком выходе керна или избирательном его истирании следует применять другие технические средства разведки.

Для повышения достоверности и информативности бурения необходимо использовать методы ГИС, рациональный комплекс которых определяется исходя из поставленных задач.

В вертикальных скважинах глубиной более 100 м и во всех наклонных не более чем через каждые 20 м должны быть определены азимутальные и зенитные углы их стволов, что важно при по-

строении геологических разрезов, погоризонтных планов, расчете мощностей рудных интервалов. Для скважин необходимо обеспечить пересечение ими рудных тел под углами не менее  $30^\circ$ .

Для обеспечения пересечения крутопадающих рудных тел под возможно большими углами целесообразно искусственное искривление скважин. Бурение по руде следует вести одним диаметром.

Горные выработки являются основным средством детального изучения условий залегания, морфологии, внутреннего строения рудных тел, их сплошности, вещественного состава руд, характера распределения основных компонентов, а также контроля данных бурения и средством отбора технологических проб. Сплошность рудных тел и характер изменчивости их мощностей и содержаний золота по простиранию и падению должны быть изучены на представительных участках.

При разведке золоторудных месторождений обычно задействованы горно-буровые системы. Соотношение горных и буровых работ определяется совокупностью факторов: геолого-промышленным типом месторождения, степенью изменчивости оценочных параметров, текстурно-структурными особенностями руд, возможностями избирательного истирания керна, глубиной разведки. Глубина разведки ограничивается горизонтами, экономически целесообразными для разработки с использованием современных технологий. Примеры разведки золоторудных месторождений различных морфологических типов с использованием горно-буровых систем приведены на рис. 16-20 [15].

Расположение разведочных выработок и расстояния между ними определяются для каждого структурно-морфологического типа рудных тел. В табл. 9 приведены обобщенные сведения о плотности разведочной сети, применяемой при разведке золоторудных месторождений. Но их нельзя рассматривать как обязательные. Для каждого конкретного месторождения на основе тщательного анализа всех имеющихся материалов обосновывается рациональная геометрия и плотность сети разведочных выработок.

Для подтверждения достоверности запасов отдельные участки месторождения должны быть разведаны более детально. Их изучают и опробуют по более плотной разведочной сети. На месторождениях 2-й группы такие участки должны быть разведаны по категории *B*, а на месторождениях 3-й группы сеть выработок целесообразно сгустить не менее чем в 2 раза по сравнению с принятой

для категории  $C_1$  2-й группы. Участки детализации по возможности располагаются в контуре запасов, подлежащих первоочередной отработке.

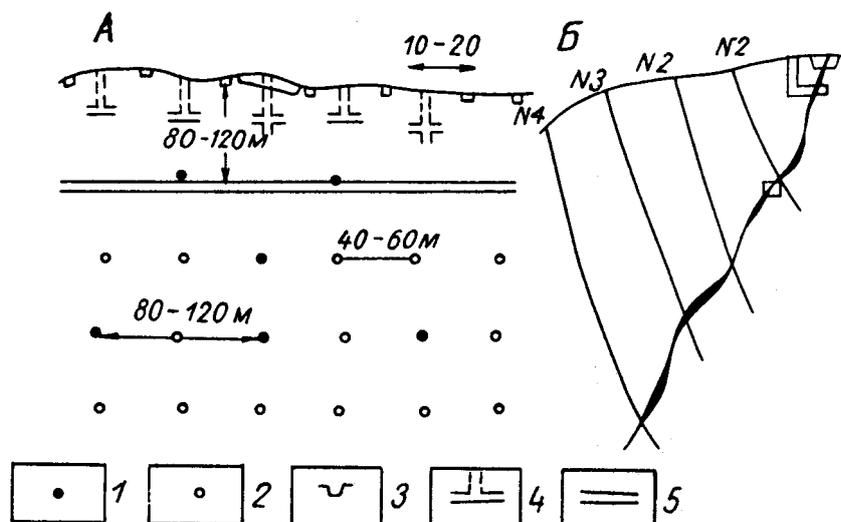


Рис. 16. Схема разведки маломощной жилы (по В. Н. Иванову и др.):

$A$  – проекция жилы на вертикальную плоскость;  $B$  – вертикальный разрез.

1 – скважины первой очереди; 2 – скважины второй очереди;

3 – каналы; 4 – шурфы с рассечками; 5 – штрек по жиле

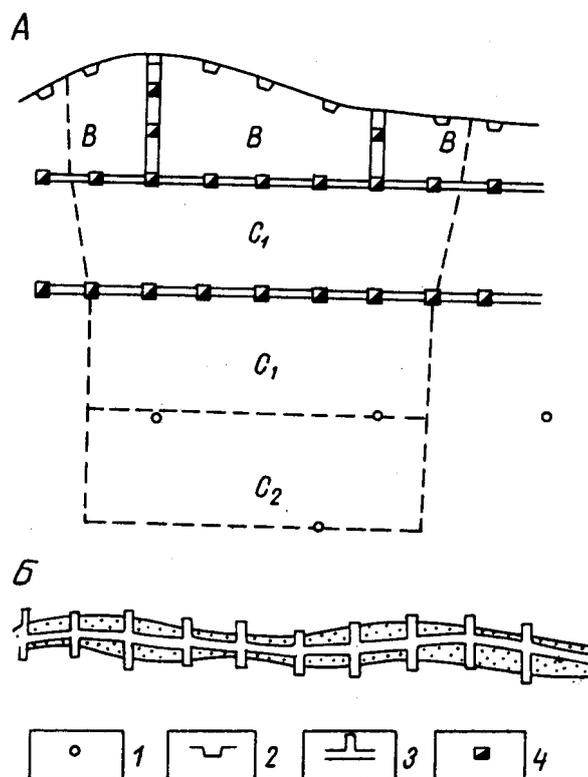


Рис. 17. Схема разведки мощной жилы (по В. Н. Иванову):

$A$  – проекция жилы на вертикальную плоскость;  $B$  – план шахтного горизонта.

1 – скважина; 2 – каналы; 3 – штреки и восстающие; 4 – рассечки

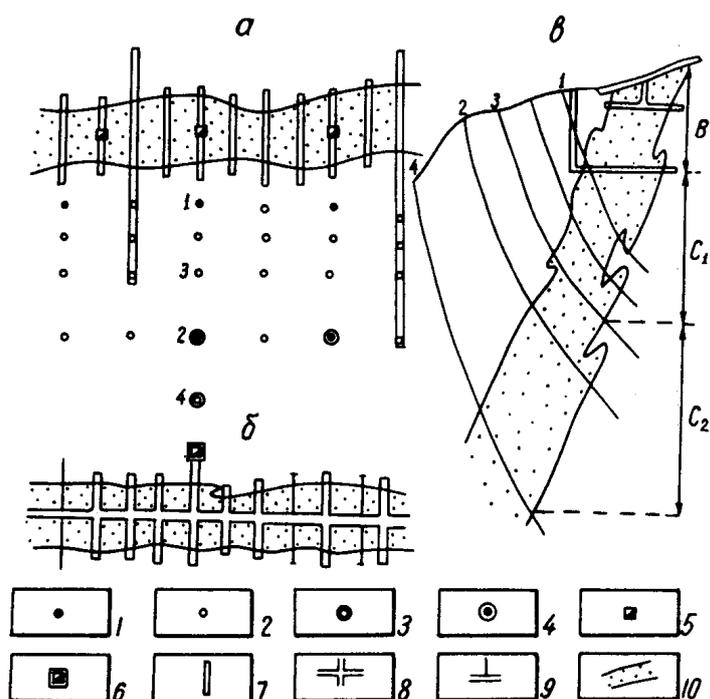


Рис. 18. Схема разведки жильных и минерализованных зон  
(по В. Н. Иванову и др.):

*a* – план поверхности; *б* – план шахтного горизонта; *в* – вертикальный разрез.

- 1 – скважины первой очереди до 100 м; 2 – скважины второй очереди;  
3 – скважины структурные; 4 – скважины первой очереди до 300 м; 5 – шурфы;  
6 – шахта; 7 – канавы; 8 – штрек с рассечками; 9 – горизонтальные скважины;  
10 – рудная зона

На месторождениях с прерывистым оруденением оценка запасов производится без геометризации конкретных рудных тел с использованием коэффициента рудоносности. В то же время на основании определения пространственного положения балансовых руд должна быть оценена возможность их селективной выемки.

Для изучения качества полезного ископаемого, оконтуривания рудных тел и подсчета запасов все рудные интервалы, вскрытые разведочными выработками и установленные в обнажениях, должны быть *опробованы*. Принятый метод и способ опробования должны обеспечить наибольшую достоверность результатов при достаточной производительности и экономичности. На месторождениях, где установлена корреляционная связь золота с попутными компонентами, для локализации рудных интервалов целесообразно применение ядерно-геофизических методов (что должно быть регламентировано соответствующими методическими документами).

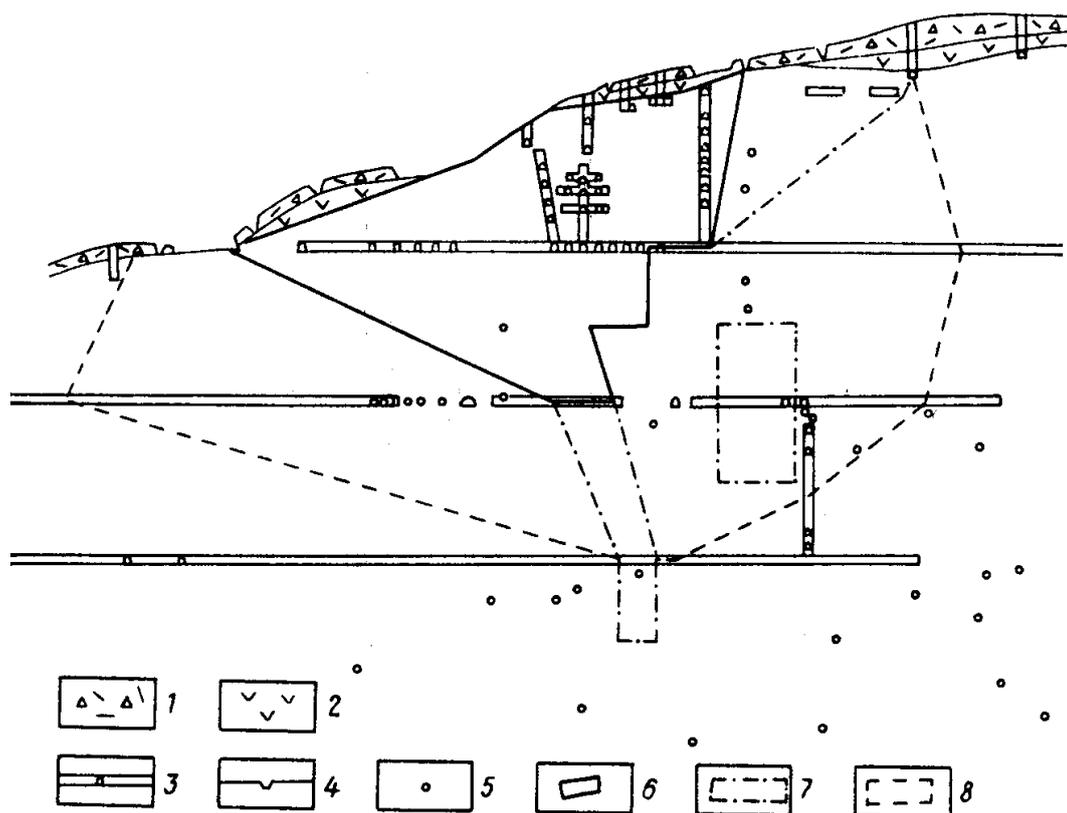


Рис. 19. Схема разведки и оконтуривания запасов на золоторудном месторождении жильного типа (по В. Н. Иванову и др.):

1 – рыхлые отложения; 2 – пологозалегающая зона нарушения, экранирующая оруденение; 3 – подземные горные выработки; 4 – каналы; 5 – скважины; 6 – запасы категории  $C_1$ ; 7 – запасы категории  $C_2$ ; 8 – забалансовые запасы

Опробование разведочных сечений производится с соблюдением следующих обязательных условий:

- сеть опробования должна быть выдержанной, плотность ее определяется геологическими особенностями изучаемых участков;
- в случае пересечения рудных тел разведочными выработками под острым углом к направлению максимальной изменчивости должна быть доказана возможность использования в подсчете запасов результатов опробования этих сечений;
- опробование следует проводить непрерывно, на полную мощность рудного тела с выходом во вмещающие породы на величину, превышающую мощность пустых прослоев;
- природные разновидности руд и минерализованных пород в зальбандах опробуются отдельно – секциями;
- при опробовании керн диаметром 76 мм и более возможно деление керна пополам вдоль оси; при меньшем диаметре и нерав-

номерном распределении золота деление керна на две половины при опробовании не производится;

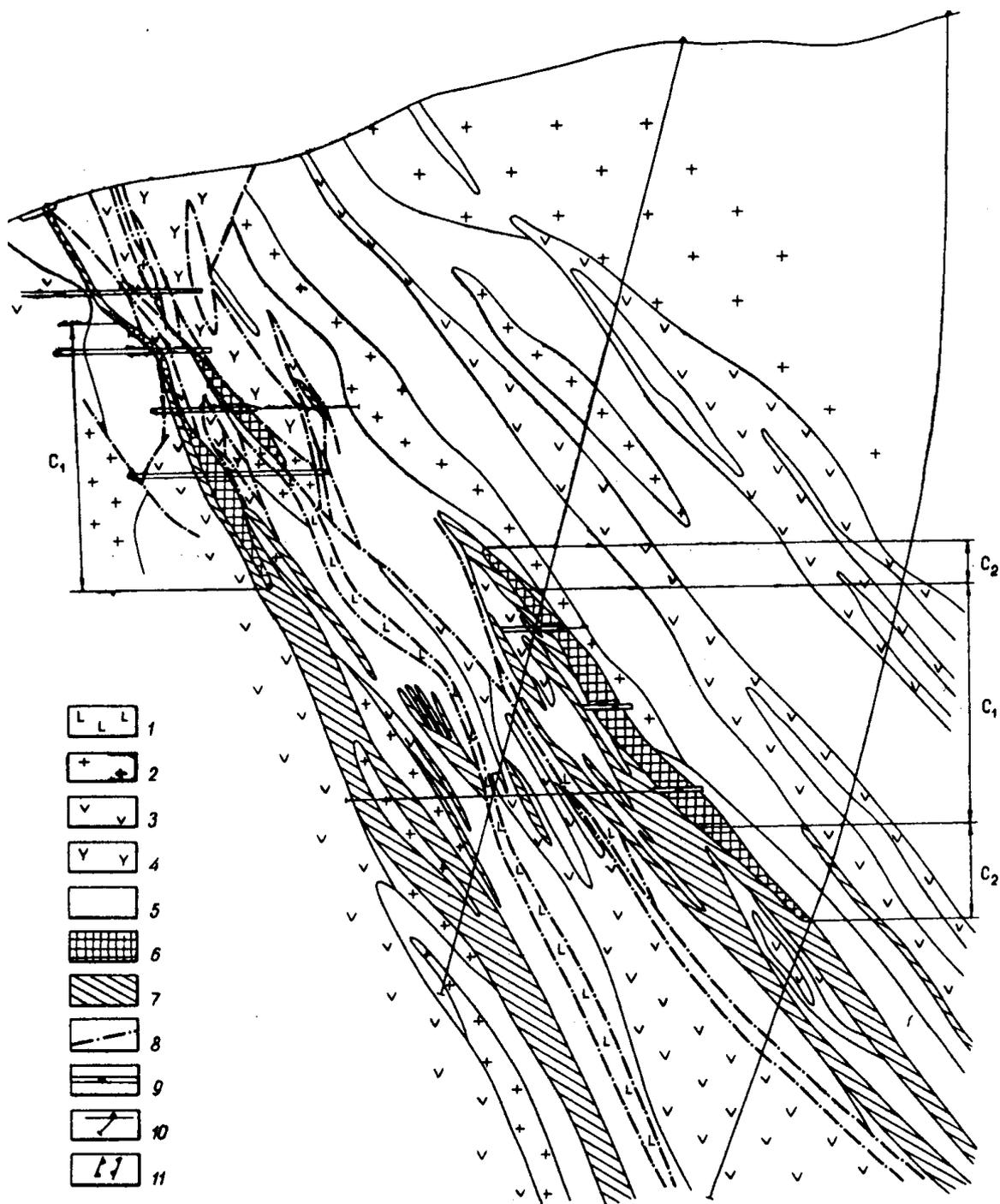


Рис. 20. Схема разведки и оконтуривания запасов на золото-серебряном месторождении типа минерализованных зон (по В. Н. Иванову и др.):

- 1 – риолиты; 2 – гранодиорит-порфиры; 3 – сиенитовые порфиры;
- 4 – лавы, туфы дацит-андезитового состава; 5 – сланцы;
- 6 – рудоносные залежи в зонах окварцевания; 7 – зоны окварцевания;
- 8 – разрывные нарушения; 9 – подземные горные выработки;
- 10 – скважины; 11 – древние выработки

– в горных выработках, пересекающих рудное тело на всю мощность, и в восстающих опробование производится по двум стенкам выработки; в выработках, пройденных по простиранию рудного тела, – в забоях (с шагом 1-4 м).

Таблица 9

**Сведения о плотности разведочных выработок при разведке золоторудных месторождений**  
(Методические указания ..., 2007, с упрощениями)

Группа месторождений	Характеристика рудных тел	Форма рудных тел	Виды выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками, м			
				B		C <sub>1</sub>	
				по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
2	Крупные минерализованные и жильные зоны, штокерки, значительные по размерам залежи, протяженные жилы	Жилы	Штреки	Непрерывное прослеживание	40-60	Непрерывное прослеживание	80-120*
			Восстающие	80-120	Непрерывное прослеживание	120	Непрерывное прослеживание
			Рассечки	10-20	–	20-40	–
			Скважины	10-20	–	40-60	40-60
	Минерализованные и жильные зоны	Штреки	Непрерывное прослеживание	40-60	Непрерывное прослеживание	80-120**	
		Восстающие	80-120	Непрерывное прослеживание	120**	Непрерывное прослеживание	
		Рассечки, горизонтальные скважины	20-30	–	40-60	–	
		Скважины	40-50****	40-50****	60-80 100***	40-50 50****	

Продолжение таблицы 9

Группа месторождений	Характеристика рудных тел	Форма рудных тел	Виды выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками, м			
				<i>B</i>		<i>C</i> <sub>1</sub>	
				по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
2	Крупные минерализованные и жильные зоны, штокерки, значительные по размерам залежи, протяженные жилы	Штокерки	Штреки	Непрерывное прослеживание	40-60	Непрерывное прослеживание	–
			Квершлагги, горизонтальные скважины	20-40	–	40-80	–
			Скважины	–	–	60-80	40-60
		Залежи	Штреки	Непрерывное прослеживание	40-60	Непрерывное прослеживание	–
			Восстающие	80-120	Непрерывное прослеживание	120	Непрерывное прослеживание
			Орты, горизонтальные скважины	10-20	–	20-40	–
			Скважины	–	–	60-80	40-60

Группа месторождений	Характеристика рудных тел	Форма рудных тел	Виды выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками, м			
				B		C <sub>1</sub>	
				по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
3	Средние и крупные сложностроенные минерализованные и жильные зоны, залежи, жилы сложного строения	Жилы	Штреки	–	–	Непрерывное прослеживание	40-60
			Восстающие	–	–	80-120	Непрерывное прослеживание
			Рассечки, горизонтальные скважины	–	–	10-20	–
			Скважины	–	–	40-60	40-60
		Залежи	Штреки	–	–	Непрерывное прослеживание	40-60
			Восстающие	–	–	80-120	Непрерывное прослеживание
			Орты, горизонтальные скважины	–	–	20-30	–
			Скважины	–	–	40-60	40-60
4	Небольшие и мелкие рудные тела с чрезвычайно сложным прерывистым гнездобразным распределением оруденения		Штреки	–	–	Непрерывное прослеживание	40

Группа месторождений	Характеристика рудных тел	Форма рудных тел	Виды выработок	Расстояния между пересечениями рудных тел выработками, м			
				B		C <sub>1</sub>	
				по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
			Восстающие	–	–	Не менее одного пересечения по каждому телу	
			Орты, горизонтальные скважины	–	–	10	–

\* При определении максимально допустимой глубины разведки скважинами ниже последнего горного горизонта для получения запасов категории C<sub>1</sub> следует руководствоваться настоящими методическими рекомендациями.

\*\* Проходка восстающих может быть заменена бурением вееров скважин.

\*\*\* Для месторождений типа крупных минерализованных зон.

\*\*\*\* Для небольших тел, характеризующихся исключительно сложным строением и прерывистым распределением оруденения.

На оцененных месторождениях разведочная сеть для категории C<sub>2</sub> по сравнению с сетью для категории C<sub>1</sub> разрежается в 2-4 раза в зависимости от сложности геологического строения месторождения.

Качество опробования по каждому принятому способу необходимо систематически контролировать, оценивая точность и достоверность результатов. *Точность* бороздового опробования следует контролировать отбором сопряженных борозд того же сечения; кернового опробования – отбором проб из вторых половинок керна. *Достоверность* принятых методов и способов опробования контролируется более представительным способом, как правило, валовым (задирковым).

Химический состав руд изучается с полнотой, обеспечивающей установление содержания золота, его пробности, наличия и промышленной значимости попутных полезных компонентов, а также вредных примесей.

Все рядовые пробы анализируются на Au, Ag, а также на компоненты, содержание которых учитывается при оконтуривании рудных тел. Ими могут быть Cu, Zn, Pb, S, Bi и др.

Иные полезные компоненты (кремнезем для кислых флюсов) и вредные примеси (As, C, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Sb и др.) обычно определяются в

групповых пробах. Для установления границы зоны окисления должны выполняться фазовые анализы.

Для определения величины случайных погрешностей производится *внутренний контроль* с использованием традиционной методики, а для выявления систематической погрешности используется *внешний контроль*.

Минеральный состав природных разновидностей и промышленных типов руд, их текстурно-структурные особенности и иные свойства должны быть изучены с применением минералого-петрографических, физических, химических и других видов анализа. Особое внимание уделяется изучению золота, его взаимоотношению с другими минералами, а также формам нахождения золота, размерности, распределению по классам крупности, наличию сростков и т. д. В результате устанавливаются природные разновидности руд, намечаются технологические типы (требующие отдельной переработки).

Технологические свойства руд изучаются в лабораторных и полупромышленных условиях на минералого-технологических, малых технологических, лабораторных, укрупненно-лабораторных и полупромышленных пробах. В процессе технологических исследований целесообразно изучить возможность предобогащения добытой руды или ее разделения на сорта на основе радиометрической (рентгенорадиометрической, фотометрической и т. д.) крупнопорционной сортировки горнорудной массы в транспортных емкостях.

*Проводится технологическое картирование* типов и сортов руд. При этом малыми минералого-технологическими пробами, отобранными по определенной сети, должны быть охарактеризованы все природные разновидности руд, изучается пространственная изменчивость вещественного состава, физико-механических, технологических свойств руд, составляются геолого-технологические карты, планы, разрезы. Должны быть изучены технологические свойства всех выделенных типов руд в степени, необходимой для выбора оптимальной технологической схемы их переработки, определения технологических показателей обогащения и качества получаемой продукции.

Основными технологическими схемами переработки минерального сырья золоторудных месторождений является комбинация обогащения и пирометаллургии. Они включают в себя рудосортировку, дробление, измельчение, обесшламливание, гравитаци-

онное и флотационное обогащение, амальгамацию, цианирование (по фильтрационной или сорбционной технологии) или пирометаллургическую переработку (обжиг, плавку) руд и концентратов.

Новыми технологическими процессами являются: радиометрическая сортировка, кучное выщелачивание, биовыщелачивание, хлоридовозгонка, а также геотехнологические способы добычи золота (скважинные системы выщелачивания). Большое значение получил способ кучного выщелачивания. Он позволяет вовлекать в эксплуатацию руды с низким (до 0,5 г/т) содержанием золота. Основным реагентом при кучном выщелачивании является цианид натрия. Заменителями цианида могут быть кислые растворы тиомочевины, тиосульфатные растворы, гуминовые кислоты, композиции, составленные на основе сульфатно-хлоритовых растворов с добавлением хлористого натрия.

Гидрогеологические, инженерно-геологические, геокриологические, горно-геологические, экологические и другие природные условия должны быть изучены с детальностью, необходимой для составления проекта разработки месторождения. Более подробно эти вопросы рассмотрены в разделах «Железорудные месторождения» и «Меднорудные месторождения».

Запасы подсчитываются отдельно по категориям разведанности, способам отработки (карьерами, штольневými горизонтами, шахтами), промышленным типам и сортам руд и их экономическому значению (балансовые, забалансовые – потенциально-экономические). При подсчете запасов традиционными методами должны быть выявлены пробы с «ураганными» пробами.

Подсчет запасов методом геостатистического моделирования с использованием процедуры крайгинга должен быть строго контролируемым. Результаты следует проверять традиционными методами подсчета запасов.

При необходимости выявления особенностей геологического строения рудных тел, горно-геологических условий отработки, технологии добычи и обогащения руд может осуществляться опытно-промышленная разработка (ОПР) в рамках проекта разведочной стадии.

Рациональное соотношение запасов различных категорий определяется недропользователем с учетом допустимого предпринимательского риска.

## 2.4. Алюминиевое сырье

### 2.4.1. Алюминиевое сырье, его минеральный состав, направления использования

*Алюминий* – важнейший металл современной индустрии. По масштабам производства и потребления занимает второе место после железа и первое место среди цветных металлов. Это связано с его универсальными свойствами: малой плотностью ( $2,7 \text{ г/см}^3$ ), высокой электропроводностью, пластичностью, механической прочностью, устойчивостью против коррозии. Этими свойствами обусловлено широкое применение алюминия в промышленности: авиационной, автомобильной, электротехнической, в строительстве (электрокорунд, огнеупоры), машиностроении, при производстве упаковочных материалов и т. д.

Важнейшими минералами, содержащими алюминий, являются: гиббсит (гидраргиллит) –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 65,40 %), бемит и диаспор –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 84,97 %), каолинит –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \times 2\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 39,5 %), а также нефелин –  $(\text{Na}_x\text{K}_y)_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 32,0-35,0 %), алуниит –  $((\text{Na}_x\text{K}_y)_2 \cdot (\text{Al}_2\text{SO}_4)_3 \cdot 4\text{Al}(\text{OH})_3$  ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 37,0 %) и другие: кианит –  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ , давсонит –  $\text{NaAlCO}_3(\text{OH})_2$ .

Ведущим сырьем для производства алюминия являются *бокситы*. Представлены рудой, состоящей в основном из гидроксидов алюминия (гиббсита, бемита, диаспора), а также оксидов, гидроксидов железа и глинистых минералов. В них отношение содержания оксида алюминия к оксиду кремния (*кремниевый модуль*) должно быть не менее 2. Сопутствующие бокситам породы с кремниевым модулем менее 0,85 называют *сиаллитами*, а с модулем 0,85-2,0 – *аллитами*. Содержание глинозема в промышленных рудах обычно превышает 28 % [20].

В зависимости от минерального состава выделяют два основных типа бокситов – моногидратный (бемитовый и диаспоровый) и тригидратный (гиббситовый).

Основной вредной примесью в бокситах является оксид кремния, присутствующий как в форме свободного кварца, так и в составе глинистых минералов. Из минералов железа присутствуют гематит, гетит, гидрогетит, маггемит и др., часто встречается сидерит. Кроме основных химических элементов в бокситах присут-

ствуют в рассеянном состоянии галлий, ванадий, скандий, уран и др. Ванадий и галлий в настоящее время извлекаются при промышленной переработке руд по методу Байера (см. ниже).

Минеральная форма основных компонентов влияет на выбор режима технологической переработки бокситов, ибо минералы глинозема обладают различной вскрываемостью. Также учитываются литологические разновидности бокситов, подразделяемые на каменистые, рыхлые, глинистые и др.

#### ***2.4.2. Ведущие критерии прогнозирования месторождений бокситов***

Формирование месторождений бокситов определяется совокупностью *поисковых критериев и признаков*. При этом необходимо подчеркнуть, что критерии прогнозной оценки, используемые на территории России и сопредельных стран, существенно отличаются от областей и территорий, где широко проявлены процессы «молодого» (палеоген-неогенового и современного) латеритного бокситообразования [27].

*Стратиграфический критерий.* Время образования бокситов на территории России и стран ближнего зарубежья охватывает поздний протерозой, палеозой, мезозой и начало палеогена. Все месторождения бокситов приурочены к отложениям определенных временных интервалов, называемых эпохами бокситонакопления. Они отвечают эпохам стратиграфических несогласий. Такие эпохи проявили себя в позднем протерозое – раннем кембрии, девоне, карбоне, триасе-юре, мел-палеогене.

Наиболее древнее месторождение бокситов – Боксонское – известно в составе пород доломитовой *формации позднего протерозоя* в Восточном Саяне. Здесь высококремнистые непромышленного значения залежи бокситов гематит-диаспор-хлоритового состава мощностью до 3-8 м располагаются среди железисто-аллитовых сланцев.

Высококачественные бокситы, связанные с рудоносной *эпохой среднего-позднего девона*, формировались в областях карбонатонакопления на восточном склоне Северного Урала, западном склоне Южного Урала, в Салаире и других районах мира.

Начиная с *визейского века* широкое распространение получили терригенные пестроцветные и углистые бокситоносные форма-

ции, развитые в обширных понижениях внутри континентов и на прибрежно-морских равнинах. Рудные тела малой мощности залегают в основании трансгрессивных серий на породах различного состава (восточный склон Балтийского щита, Южный Тиман).

В мезозое продолжалось формирование бокситовых месторождений в областях карбонатакопления (на Балканах). Кроме того, широкое распространение получил уже иной тип рудных залежей, приуроченных к карстовым и суффозионно-карстовым депрессиям (восточный склон Среднего и Южного Урала, Западный Тургай).

Формирование бокситовых месторождений, связанных с латеритными покровами на породах алюмосиликатного субстрата, проявило себя в кайнозое, начиная с олигоцена. В связи с особенностями новейшей климатической зональности месторождения бокситов в латеритных покровах располагаются исключительно в тропической зоне Земли. В них заключено более 80 % промышленных запасов мира.

При рассмотрении последовательной смены бокситоносных формаций во времени прослеживается согласованное перемещение областей бокситонакопления из моря на сушу во всех регионах мира. При этом видоизменялись процессы природного разделения алюминия и кремния, возникали новые типы бокситоносных формаций, усложнялось строение рудных залежей и, что самое главное, прогрессивно росли объемы накапливающихся бокситовых образований.

*Формационный критерий.* По содержанию он раскрывает и дополняет отдельные положения, затронутые ранее.

Месторождения бокситов известны в карбонатной, терригенной и латеритной группах бокситоносных формаций [27, 36].

Группа *карбонатных бокситоносных формаций* состоит из субкарбонатной и собственно карбонатной формаций. Общими признаками их являются: 1) преобладание в разрезе карбонатных пород (известняков, доломитов); 2) наличие перерывов в осадконакоплении, к которым и приурочены бокситовые залежи; 3) размещение в областях складчатых зон. На строение формирующихся залежей оказывали влияние ряд факторов, а именно:

– длительность перерывов – чем они продолжительнее, тем этот фактор более благоприятен; например, на месторождениях СУБРа перерыв длился целый век;

– состав пород в областях сноса, примыкающих к площадям бокситонакопления; благоприятны комплексы алюмосиликатных высокоглиноземистых пород (эффузивы основного состава, метаморфические сланцы хлорит-серицитового состава и др.).

*Группа терригенных бокситоносных формаций* характеризуется целым рядом особенностей. Их признаками являются: 1) приуроченность к базальным горизонтам трансгрессивных циклов на платформах; 2) абсолютное преобладание в разрезе терригенных отложений глинистого состава; 3) высокая фациальная изменчивость формаций, присутствие мелких внутрiformационных размылов; 4) малые мощности формаций (первые десятки метров) при значительном площадном распространении.

Терригенные бокситоносные формации известны в геологическом разрезе начиная с раннего карбона. Они формировались по окраинам щитов древних платформ либо в обрамлении крупных внутрiformационных поднятий. С этим типом связаны месторождения европейской части страны, сосредоточенные в Тихвин-Онежской и Тиманской бокситоносных провинциях. Для мел-палеогеновой эпохи бокситонакопления характерны терригенные бокситоносные формации с карстовым морфогенетическим типом рудных залежей. Они тяготеют к окраинам плит молодых платформ. Примерами являются месторождения восточного склона Урала, месторождения Тургайской провинции, Салаирского кряжа.

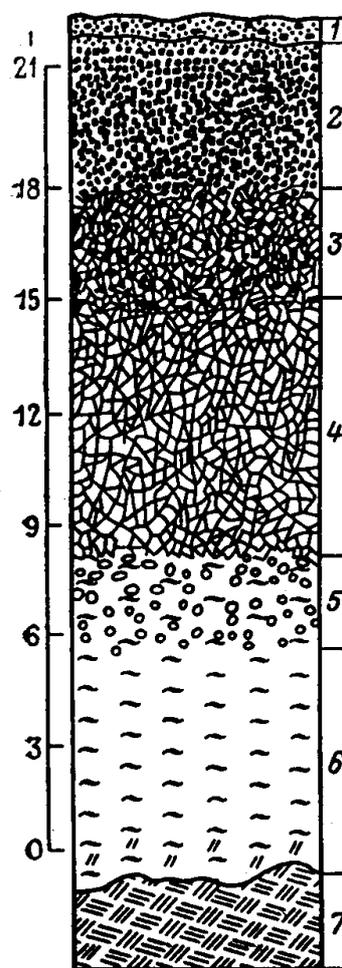
*Группа латеритных бокситоносных формаций* развита в современной тропической зоне. На территории России можно наблюдать лишь продукты перемыва латеритных кор, сохранившиеся в виде разновозрастных «коррелятных отложений». Подробнее эти коры выветривания рассмотрены ниже. Типовой геологический разрез одного из месторождений латеритного типа в Индии приведен на рис. 21.

*Палеогеографический критерий.* Раскрывает механизм формирования латеритного корообразования. Он изучен на примере процессов современного (олигоцен-четвертичного) бокситообразования в странах тропического пояса. Основными палеогеографическими параметрами рудогенного процесса являются синхронно проявленные геологические, ландшафтно-климатические и иные факторы: 1) постоянно влажный климат или (что предпочтительнее) переменновлажный климат, определяющий высокую температуру грунтовых вод, интенсивный гидролиз вещества, вынос щело-

чей и кремния, фиксацию Al, Fe, Ti, интенсивное развитие микрофлоры, продуцирующей углекислоту; 2) высокое содержание углекислоты в почвенном воздухе, повышающее рН грунтовых вод и способствующее перераспределению Au и Fe с образованием алюможелезистых покровов – кирас; 3) широкое развитие силикофильной растительности (злаковой, травянистой), продуцирующей огромное количество зеленой массы; эта растительность, разлагая алюмосиликаты, извлекает на поверхность кремнезем; 4) поступление в области бокситонакопления воздушных масс, обогащенных щелочами, со стороны океана; 5) очень медленное воздымание территории на фоне относительного тектонического пояса; 6) развитие пород основного и щелочного состава, содержащих значительное количество глинозема и легко подвергающихся гидролизу.

Рис. 21. Типовой геологический разрез одного из месторождений латеритного типа в Индии (по Б. Хардеру):

- 1 – красная почва с обломками боксита;
- 2 – железистый латерит; 3 – железистый боксит;
- 4 – боксит; 5 – литомаржевый боксит;
- 6 – литомарж (глиноподобная кремнистая порода в средней, нижней части латеритного профиля);
- 7 – свежий базальт



Параметры более древних (палеозойских) эпох бокситонакопления можно лишь предполагать. В этой связи широко распространенный в учебной литературе термин «геосинклинальные» бокситы не является обоснованным. Так, месторождения Северного и Юж-

ного Урала (СУБР, ЮУБР) формировались в позднедевонский период в обстановке тектонической стабилизации. Позднее (в карбоне) на коллизионном этапе они претерпели изменения в зонах интенсивного смятия.

Перечень *поисковых признаков*, используемых при оценке бокситоносности территорий, весьма ограничен. Их перечень вытекает из анализа элементов геологического строения и уже упомянутых поисковых критериев К их числу следует отнести: а) наличие благоприятных для локализации оруденения осадочных комплексов пород; б) широкое распространение алюмосиликатных пород, являющихся благоприятным субстратом для формирования латеритных кор выветривания в прошлые геологические эпохи; в) наличие крупнообломочных (галки, валунов) ореолов бокситов в ложковых, делювиально-карстовых и аллювиальных отложениях; г) геофизические аномалии.

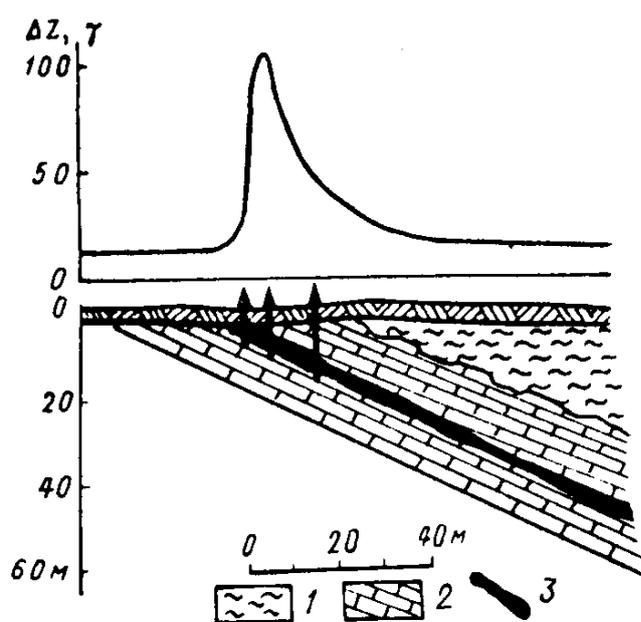


Рис. 22. Магнитная аномалия над залежью бокситов (по Б. И. Страхову):

1 – глины; 2 – известняки; 3 – бокситы

Возможности *геофизических методов* определяются физическими свойствами пород и руд бокситоносных районов [36]. Наиболее резко отличаются породы осадочного чехла и фундамента по плотности, электрическим свойствам, скорости распространения упругих волн. Это позволяет картировать рельеф фундамента с высокой точностью, выделять в породах чехла различные литологические разновидности, намечать площади развития кор выветривания в породах субстрата.

На объектах карстового, эрозионно-карстового типа в пределах депрессионных зон нередко отмечается повышенная магнитная восприимчивость отдельных разновидностей бокситов (рис. 22) (в первую очередь, каменистых), иногда повышенное содержание тория. На кривых симметричного профилирования отчетливо прослеживаются понижения в рельефе. Отмеченное позволяет рассматривать пространственно сопряжен-

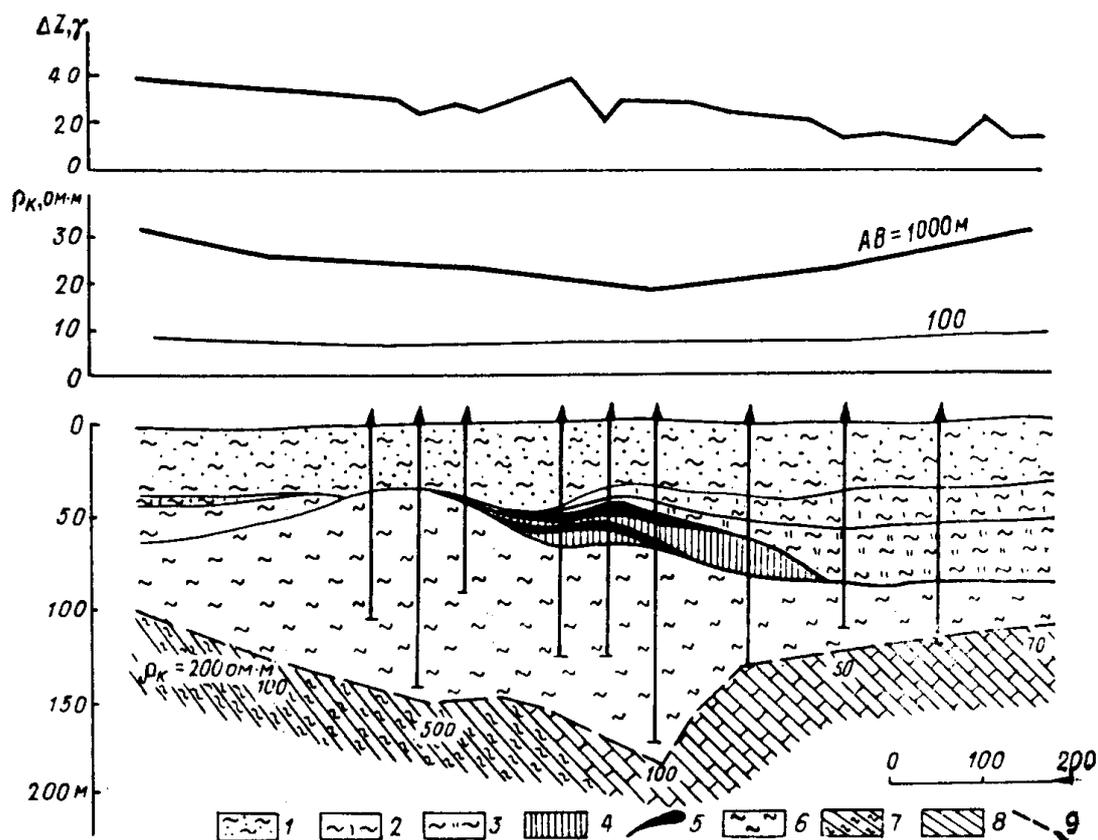


Рис. 23. Геолого-геофизический разрез месторождения бокситов (по С. П. Бабаянсу):

- 1 – четвертичные отложения; 2 – гипсоносные отложения неогена;  
 3 – пестроцветные отложения раннего мела; 4 – бокситоподобные глины;  
 5 – бокситы; 6 – глины подрудной свиты и переотложенные коры выветривания;  
 7 – сланцы; 8 – известняки; 9 – граница палеозойских пород, по данным ВЭЗ

ные результаты магниторазведки, гамма-спектроскопии, электро-разведки, высокоточной гравиразведки в качестве *прямых поисковых признаков*. На рис. 23 можно наблюдать, что над участком с каменистыми бокситами проявлена локальная аномалия с интенсивностью в первые сотни гамм. На кривой симметричного профилирования понижение в рельефе палеозойских пород проявлено лишь при разностях  $AB = 1000$  м. Положение контакта известняков определено по данным ВЭЗ.

### 2.4.3. Промышленные типы месторождений алюминия

На современном этапе изученности выделяют следующие геолого-промышленные типы алюминиевого сырья [20]:

- линейные и площадные латеритные коры выветривания в пределах платформенных областей;
- элювиальные и перемещенные латеритные коры выветривания в пределах платформ;
- осадочные месторождения в чехле платформ на границе терригенных и карбонатных толщ;
- осадочные месторождения среди карбонатных толщ в пределах складчатых областей;
- месторождения небокситового сырья, связанные с нефелиновыми сиенитами, алунидами и т. д. Они имеют второстепенное значение.

Мировые запасы бокситов оценены в 30 странах и составляют 40 млрд т, из них 95 % сосредоточено в тропическом поясе. Добывают бокситы в 26 странах в количестве 140 млн т в год. При этом 28 % добычи приходится на Гвинею, Австралию, Ямайку, Индию и Китай. На долю России приходится 3,2 %. Балансовые запасы бокситов в стране несколько превышают 400 млн т.

По масштабу месторождения бокситов подразделяют на уникальные (более 500 млн т), крупные и средние (50-500 млн т) и мелкие (менее 50 млн т).

В мировом производстве алюминия (Машковцев, 2009) Россия занимает 3-е место после США, Китая, выплавляя 32 млн т в год. Наиболее крупными являются Богословский и Уральский заводы, работающие на бокситах СУБРа и Тимана. Однако производимый в стране глинозем обеспечивает только 50 % потребности алюминиевой промышленности. Остальные 50 % Россия импортирует.

#### *Краткая характеристика ведущих промтипов бокситов*

*Остаточные латеритные месторождения в пределах платформенных областей* представлены продуктами глубокого химического выветривания алюмосиликатных горных пород основного, среднего и кислого состава. Уже отмечалось, что латериты формируются в условиях влажного и переменного-влажного тропического климата. Залежи имеют плащеобразную форму, не дислоцированы, нередко обладают крупными запасами, характеризуются высоким качеством сырья ( $Al_2O_3$  в пределах 46-54 %). Образуют покровы мощностью до 5-10 м на вершинах плоских платообразных возвышенностей (бовалей). Верхние части залежей перекрыты железистыми латеритами (кирасой) (рис. 24). Формирование месторожде-

ний происходило начиная со среднего палеогена: Боке Фриа (Гвинея), Тромбетас (Бразилия), раннекаменноугольного возраста – Висловское (район КМА).

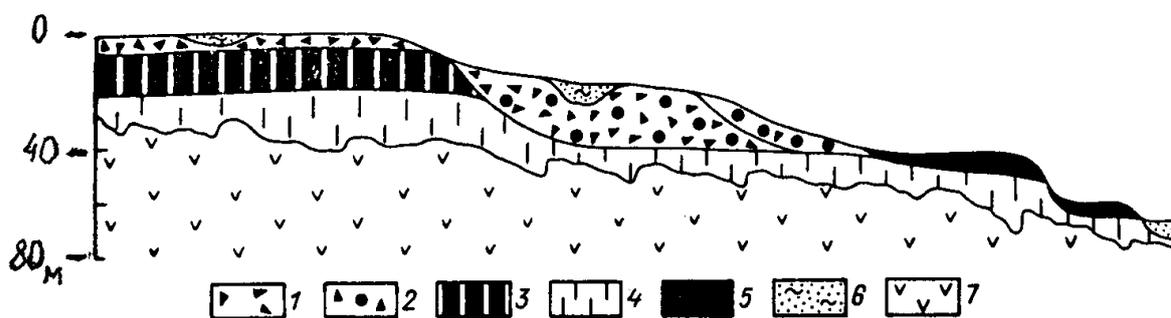


Рис. 24. Схематический геологический разрез через латеритный покров в тропической зоне Либерийского щита (по Б. М. Михайлову):

- 1 – элювиальная бокситовая брекчия; 2 – делювиальные обломочно-каолиновые бокситы (шлейфовая кираса); 3 – псевдоморфный боксит-латерит; 4 – железисто-каолиновая зона коры выветривания (литомарж); 5 – кавернозные бурые железняки (равнинная кираса); 6 – суглинки; 7 – долериты

*Полигенные месторождения* представлены переотложенными корами. Являются залежами, переходными между латеритными образованиями и осадочными месторождениями терригенных толщ. Характерны крупные и средние по размерам линзообразные рудные залежи, образованные структурными и осадочными (переотложенными) бокситами. Выполняют присклоновые депрессии различного генезиса. Эпохами формирования подобных бокситов являются позднедевонская, среднепалеогеновая. Содержание  $Al_2O_3$  в пределах 46-50 %. Примеры: месторождения Гвианы, Австралии, в России – Вежаю-Ворыквинское месторождение позднедевонского возраста.

*Месторождения, связанные с бокситоносными терригенными толщами* в чехле платформенных областей, приурочены к впадинам между выступами древнего фундамента и к эрозионно-тектоническим котлованам. Залегают среди континентальных отложений озерно-болотных фаций. Часто пространственно связаны с угленосными отложениями, порой содержат значительные объемы высокосортных огнеупорных глин. Рудные тела различного размера имеют пластообразную форму с извилистыми контурами, а также линзообразную мелкого масштаба. Мощность рудных тел варьирует в широких пределах. Месторождения подобного типа извест-

ны в России – в Тихвинском, Северо-Онежском, Средне- и Южно-Тиманском районах раннекаменноугольного возраста (содержание  $Al_3O_3$  – 40-53 %), а также в пределах Китайской и Северо-Американской платформ (раннекаменноугольного, отчасти пермского возраста).

*Осадочные месторождения среди бокситоносных терригенно-карбонатных толщ* развиты в пределах складчатых областей. Тяготеют к краевым частям крупных антиклинорных структур и срединных массивов. Образуются и накапливаются в мелководных условиях при перерыве в осадконакоплении. Всегда располагаются выше поверхностей несогласия. Обычно бокситы залегают на закарстованной поверхности рифогенных известняков. Карстовые полости являются ловушками, благоприятными для накопления и сохранения бокситов от последующего размыва. Форма залежей разнообразная, чаще пласто- и линзообразная. Кровля обычно ровная или волнистая, почва неровная. Мощность залежей изменяется в широких пределах – от первых сантиметров до 20 м и более. Содержание  $Al_3O_3$  – 50-54 %. Развиты подобные объекты на Урале в Северо- и Южно-Уральском бокситоносных районах (месторождения средне-позднедевонского возраста – Кальинское, Ново-Кальинское, Черемуховское и др.), а также раннемелового возраста – Синарское на Среднем Урале. Они широко известны и за рубежом – в Венгрии, Греции, Югославии, Ямайке, Гаити и т. д. При определенных условиях с бокситоносными залежами может быть связана золотоносность [30].

#### **2.4.4. Разведка месторождений бокситов**

*Группировка месторождений по сложности геологического строения для целей разведки*

По размерам и форме рудных тел, изменчивости их мощности, внутреннего строения и качества полезного ископаемого месторождения бокситов соответствуют 1-й, 2-й и 3-й группам [20].

*1-я группа* – бокситовые месторождения (участки) простого геологического строения с рудными телами, представленными крупными (площадью от 0,5 км<sup>2</sup> до нескольких десятков км<sup>2</sup>) пластообразными залежами с ненарушенным залеганием, выдержанной мощностью (от 2 до 10-15 м) и качеством бокситов (Иксинское ме-

сторождение бокситов, Загликское месторождение алунитов пластообразной формы).

*2-я группа* – бокситовые месторождения (участки) сложного геологического строения с крупными и средними по размерам рудными телами, представленными линзовидно-пластообразными и линзвидными залежами со сложными контурами и изменчивой мощностью, но относительно выдержанным качеством (Висловское, Вежаю-Ворыквинское месторождения), а также крупными карстово-пластообразными залежами с выровненной кровлей и неровной подошвой, с изменчивой мощностью (месторождения Красная шапочка, Кальинское, Ново-Кальинское, Черемуховское, Сосьвинское). К этой же группе отнесены объекты со средними по размерам карстово-котловинными залежами сложного строения, изменчивой мощностью, невыдержанным качеством бокситов (Краснооктябрьская, Амангельдинская группы).

*3-я группа* – бокситовые месторождения (участки) очень сложного геологического строения со средними и мелкими рудными телами линзообразной, карманообразной и гнездообразной форм с резко меняющейся мощностью и качеством бокситов (месторождения Мугайское, Аятское, Татарская группа и т. д.).

#### *Общие положения методики разведки бокситовых месторождений*

Они во многом повторяют основные положения разведки месторождений твердых полезных ископаемых, уже изложенные ранее.

По району месторождения и рудному полю необходимо иметь геологическую карту масштаба 1:25000-1:50000 с разрезами. Эти материалы должны отражать размещение рудоконтролирующих структур, рудовмещающих литолого-фациальных комплексов пород и продуктов кор выветривания, месторождений и рудопроявлений алюминия.

По разведваемому месторождению необходима топографическая основа масштаба 1:2000-1:10000 с инструментальной привязкой всех разведочных и эксплуатационных выработок, естественных обнажений.

Геологическое строение месторождения должно быть изучено детально и отражено на геологической карте масштаба 1:2000-1:10000, геологических разрезах, планах, проекциях. Геологические и геофизические материалы должны давать представление о разме-

рах и форме рудных тел, их взаимоотношениях с литолого-петрографическими комплексами пород, складчатыми и разрывными структурами.

Выходы на поверхность и приповерхностные части рудных тел и продуктов выветривания следует изучить горными выработками и неглубокими скважинами с их опробованием, позволяющим установить закономерности распределения природных разновидностей руд и продуктов выветривания.

Разведка месторождений на глубину производится скважинами с использованием геофизических методов исследования; при небольшой глубине залегания рудных залежей – скважинами в сочетании с поверхностными горными выработками. Методика разведки (виды и объемы геофизических исследований, их соотношение с буровыми и горными работами, плотность разведочной сети, методы и способы опробования) должны обеспечить возможность подсчета запасов по категориям, соответствующим группе сложности геологического строения месторождения. По скважинам колонкового бурения должен быть получен максимальный выход керна (не менее 70 % по каждому рейсу бурения). Достоверность определения линейного выхода керна следует систематически контролировать весовым или объемным способами.

Бурение по рудной зоне производится укороченными рейсами. При разведке залежей, сложенных рыхлыми рудами, применяют специальную технологию бурения для повышения выхода материала (бурение без промывки, укороченными рейсами, двойными колонковыми снарядами).

Для повышения достоверности и информативности бурения необходимо задействовать методы геофизических исследований в скважинах. Рациональный комплекс каротажа определяется исходя из поставленных задач. Он важен для выделения рудных интервалов и установления их параметров.

В вертикальных скважинах глубиной более 100 м и во всех наклонных (включая подземные) через каждые 20 м должны быть определены азимутальные и зенитные углы их стволов. Эти данные необходимо учитывать при построении геологических разрезов и расчете мощности рудных интервалов.

Для скважин необходимо обеспечить пересечение ими рудных тел под углами не менее 30°. Для подсечения крутопадающих рудных тел под большими углами целесообразно применять искус-

ственное искривление скважин. Для повышения эффективности разведки следует проводить бурение многозабойных скважин. Бурение по руде производится одним диаметром.

Горные выработки на неглубоко залегающих месторождениях проходятся для контроля данных опробования объемной массы, для изучения условий залегания, морфологии, внутреннего строения, вещественного состава типов и сортов руд.

Расположение разведочных выработок и расстояние между ними должны быть определены для каждого структурно-морфологического типа рудных тел с учетом особенностей геологического строения. Обобщенные сведения о плотности разведочной сети, рекомендуемые при проектировании геологоразведочных работ, приведены в табл. 10. Их нельзя рассматривать как обязательные. Для каждого конкретного месторождения при анализе имеющихся геолого-геофизических и эксплуатационных данных возможно обоснование рациональной геометрии и плотности разведочной сети. Принципиальная схема размещения разведочных выработок на месторождении бокситов «субровского» типа приведена на рис. 25.

Для подтверждения достоверности запасов отдельные участки месторождения разведываются более детально. Участки детализации должны отражать особенности условий залегания и форму рудных тел и располагаться в контуре запасов, намеченных к первоочередной отработке. Полученная при этом информация используется для обоснования группы сложности месторождения, подтверждения соответствия принятой методики разведки особенностям геологического строения месторождения.

Все разведочные выработки, выходы рудных тел и коры выветривания на поверхности должны быть *задокументированы и опробованы*. Принятые методы и способы опробования должны обеспечить наибольшую достоверность результатов при достаточной производительности и экономичности.

Опробование разведочных пересечений следует производить с соблюдением обязательных условий: сеть опробования должна быть выдержанной, плотность ее определяется геологическими особенностями изучаемых участков месторождений-аналогов; опробование необходимо проводить непрерывно на полную мощность рудного тела с выходом во вмещающие породы; пробы отбирать секциями отдельно по разновидностям руд (каменистым, рыхлым, глинистым и т. д.).

**Сведения о плотности сетей разведочных скважин  
при разведке месторождений бокситов**  
(Методические рекомендации..., 2007, с упрощениями)

Группа месторождений	Структурно-морфологический тип рудных тел	Расстояния между пересечениями рудных тел для категорий запасов, м					
		<i>A</i>		<i>B</i>		<i>C<sub>1</sub></i>	
		по простиранию	по падению	по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
1	Крупные простого строения пластообразные залежи с выдержанной мощностью и качеством бокситов: изометричной формы, вытянутые по простиранию	100	100	200	200	400	400
		100	100-50	200	100	400	200
2	Плащеобразные и линзообразные залежи со сложными контурами и изменчивой мощностью, но относительно выдержанным качеством бокситов: – крупные по размерам, вытянутые по простиранию залежи (типа Висловского месторождения): – крупные и средние изометричной формы залежи (типа месторождений Среднего Тимана)	–	–	150-75*	100-50*	300	100
		–	–	100	50	200	200
	Крупные сложного строения карстово-пластообразные залежи с выровненной кровлей и крайне						

Группа месторождений	Структурно-морфологический тип рудных тел	Расстояния между пересечениями рудных тел для категорий запасов, м					
		А		В		С <sub>1</sub>	
		по простиранию	по падению	по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
2	неровной подошвой (тип месторождений СУБРа): – с изменчивой мощностью и отсутствием безрудных окон;	–	–	100	100	200	200
	– с резко меняющейся мощностью и наличием безрудных окон	–	–	100**	100**	200**	200**
	Средние по размерам карстово-котловинные залежи сложного строения с изменчивой мощностью и невыдержанным качеством бокситов (тип месторождений Казахстана – Восточно-Тургайской группы и Красноярского)	–	–	50-100	50-100	100-200	50-100
3	Очень сложного строения, линзообразные, карманообразные и гнездообразные залежи с резко меняющейся мощностью и качеством бокситов:						

Группа месторождений	Структурно-морфологический тип рудных тел	Расстояния между пересечениями рудных тел для категорий запасов, м					
		А		В		С <sub>1</sub>	
		по простиранию	по падению	по простиранию	по падению	по простиранию	по падению
3	– средние по размерам;	–	–	–	–	100-50	100-50
	– небольшие и мелкие	–	–	–	–	25-50	25-50

\* На участках сгущения сети.

\*\* При подсчете запасов по приведенной сети применяются поправочные понижающие коэффициенты, установленные на основании сопоставления данных разведки и эксплуатации.

1. В ряде случаев для крупных залежей с резко меняющейся мощностью и наличием безрудных окон целесообразна при разведке по квадратной сети проходка центральной скважины.

2. На оцененных месторождениях разведочная сеть для категории С<sub>2</sub> разрезается в 2-4 раза по сравнению с сетью для категории С<sub>1</sub> в зависимости от сложности геологического строения месторождения.

Качество опробования необходимо систематически контролировать, оценивая точность и достоверность результатов. *Точность* кернового опробования контролируется отбором проб из вторых половинок керна. *Достоверность* скважинного опробования заверяется опробованием сопряженных горных выработок, а для глубокозалегающих рудных тел – данными геофизического опробования. Объем контрольного опробования должен быть достаточным для статистической обработки и обоснования выводов об отсутствии или наличии систематических ошибок, а в случае необходимости – для введения поправочных коэффициентов.

Химический состав руд должен изучаться с полнотой, обеспечивающей установление всех основных, попутных полезных компонентов и вредных примесей. Бокситы анализируются на следующие компоненты: рядовые пробы – на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, П. П. П.; групповые пробы – на TiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, FeO, MnO, CO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, С<sub>орг.</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Ga, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Sc, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, П. П. П. Групповые пробы

должны характеризовать определенные промышленные типы и сорта руд.

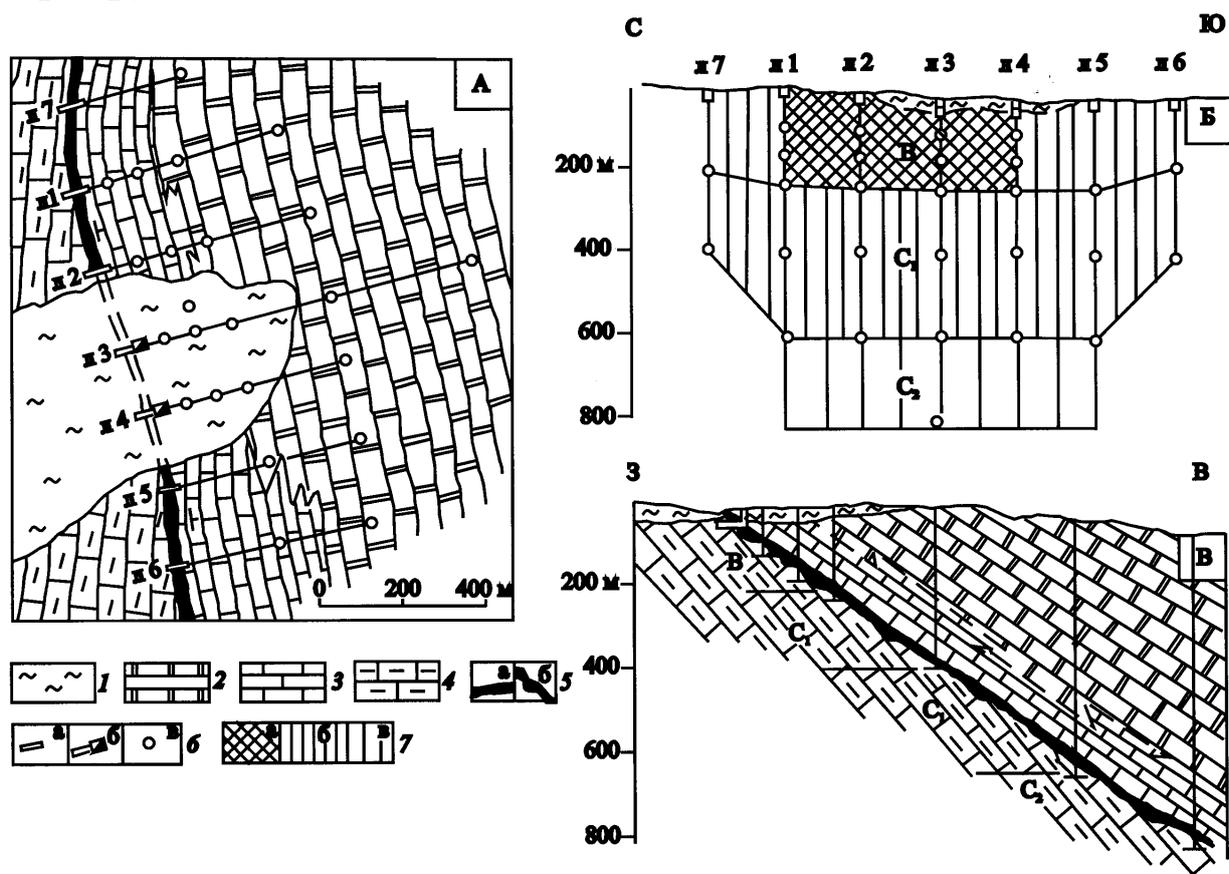


Рис. 25. Принципиальная схема размещения геологоразведочных выработок на месторождении бокситов «субровского» типа:

А – план; Б – продольная вертикальная проекция с блокировкой запасов;

В – геологический разрез:

1 – делювиальные отложения ( $N_2 - Q$ ); 2 – известняки серые, массивные ( $D_2^1$ );

3 – известняки темно-серые, битуминозные, амфиоровые ( $D_2^1$ );

4 – известняки светло-серые розовых тонов, рифогенные ( $D_1^1$ );

5 – бокситовый пласт на плане (а), разрезе (б);

6 – разведочные выработки: канавы (а), шурфы с рассечками (б), скважины (в);

7 – контуры подсчетных блоков различных категорий – В (а),  $C_1$  (б),  $C_2$  (в)

Для определения величины случайных погрешностей проводят *внутренний контроль* путем анализа зашифрованных контрольных проб (отобранных из дубликатов аналитических проб). Для выявления и оценки возможных систематических погрешностей должен осуществляться *внешний контроль* в лаборатории, имеющей статус контрольной. На этот контроль направляются дубликаты аналитических проб, хранящиеся в основной лаборатории и прошедшие внутренний контроль.

Минеральный состав природных разновидностей и промышленных типов руд, их текстурно-структурных особенностей, физических свойств должен быть изучен с применением различных видов анализа (минералого-петрографического, физического, химического). Для отдельных литологических разновидностей и марок бокситов необходимо определить минеральную форму глинозема (гиббсит, бёмит, диаспор, корунд) и установить минеральную форму нахождения кремнезема. В результате должны быть установлены природные разновидности и намечены промышленные (технологические) типы и сорта, подлежащие раздельной выемке, требующие различных способов переработки.

Технологические свойства руд изучаются в лабораторных и полупромышленных условиях на минералого-технологических, малых технологических, лабораторных, укрупненно-лабораторных и полупромышленных пробах. Для выделения технологических типов и сортов руд проводится *геолого-технологическое картирование*. При этом сеть опробования выбирается в зависимости от числа и частоты перемежаемости природных разновидностей руд. Должны быть охарактеризованы все природные разновидности руд. По результатам их испытаний проводится геолого-технологическая типизация руд месторождения с выделением технологических типов и сортов, изучается пространственная изменчивость вещественного состава, физико-механических и технологических свойств, составляются геолого-технологические карты, разрезы.

В результате исследований должны быть получены данные, достаточные для проектирования технологической схемы переработки руд с комплексным извлечением содержащихся в них компонентов, имеющих промышленное значение. Должен быть определен оптимальный метод переработки руд (байеровский, спекания или с использованием комбинированных технологических схем), а также установлено извлечение глинозема и щелочи, удельного расхода известняка и т. д.

Важнейшим методом переработки бокситов на глинозем является гидрохимический метод Байера. Схема этого процесса: боксит после тонкого помола подвергается обработке концентрированным раствором едкого натра, в результате чего глинозем переходит в раствор в форме алюмината натрия ( $\text{NaAlO}_2$ ). Этот метод прост, экономичен, однако применим для бокситов с небольшим содержанием кремнезема. В тех случаях, когда бокситы имеют повышенное

содержание кремнезема, осуществляется спекание трехкомпонентной шихты (боксит, известняк, сода) при температуре 1150-1250 °С с последующим выщелачиванием обратными щелочными растворами слабых концентраций.

При разведке выполняется изучение *гидрогеологических, инженерно-геологических, экологических* и других природных условий изучаемых месторождений. Содержание этих исследований уже освещено ранее (в других разделах учебного пособия). Особо следует подчеркнуть высокую значимость гидрогеологических исследований. На их основе должны быть охарактеризованы все основные водоносные структуры и горизонты, которые могут участвовать в обводнении месторождения. По каждому горизонту нужно установить его мощность, литологический состав, типы коллекторов, условия питания, взаимосвязь с другими водоносными горизонтами и поверхностными водами. Должны быть определены возможные водопритоки в эксплуатационные горные выработки, разработаны рекомендации по их защите от подземных вод. Необходимость изучения всех этих вопросов доказывает опыт эксплуатационных работ в шахтах СУБРа.

Подсчет запасов и их квалификация по степени разведанности производится в соответствии с требованиями [9]. Запасы руды в оконтуренных блоках не должны превышать годовую производительность будущего горного предприятия. Блоки должны характеризоваться одинаковой степенью разведанности и изученности параметров, выдержанностью условий залегания рудных тел, приуроченностью к единому структурному элементу (крылу, тектоническому блоку, замковой части складки и т. д.), общностью горнотехнических условий разработки.

На разрабатываемых месторождениях для контроля за полной отработки ранее утвержденных запасов и обоснования достоверности вновь подсчитываемых запасов следует проводить сопоставление данных разведки и эксплуатации. Эта работа включает сопоставление данных по запасам, морфологии, условиям залегания, мощности, внутреннему строению, содержанию полезных компонентов. В материалах сопоставления должны быть проведены контуры ранее утвержденных и погашенных запасов, списанных как неподтвердившихся, контуры площадей приращиваемых запасов; представлены таблицы движения запасов и отражающие баланс руд, потери при добыче и транспортировке руд и др. Результа-

ты сопоставления сопровождаются иллюстрационной графикой. По месторождению, на котором утвержденные запасы и качество руд не подтвердились при разработке, может быть рассмотрен вопрос о введении поправочных коэффициентов в ранее утвержденные параметры или запасы. Для этого обязательным является выполнение специального подсчета запасов доразведки, эксплуатационной разведки с оценкой достоверности полученных результатов.

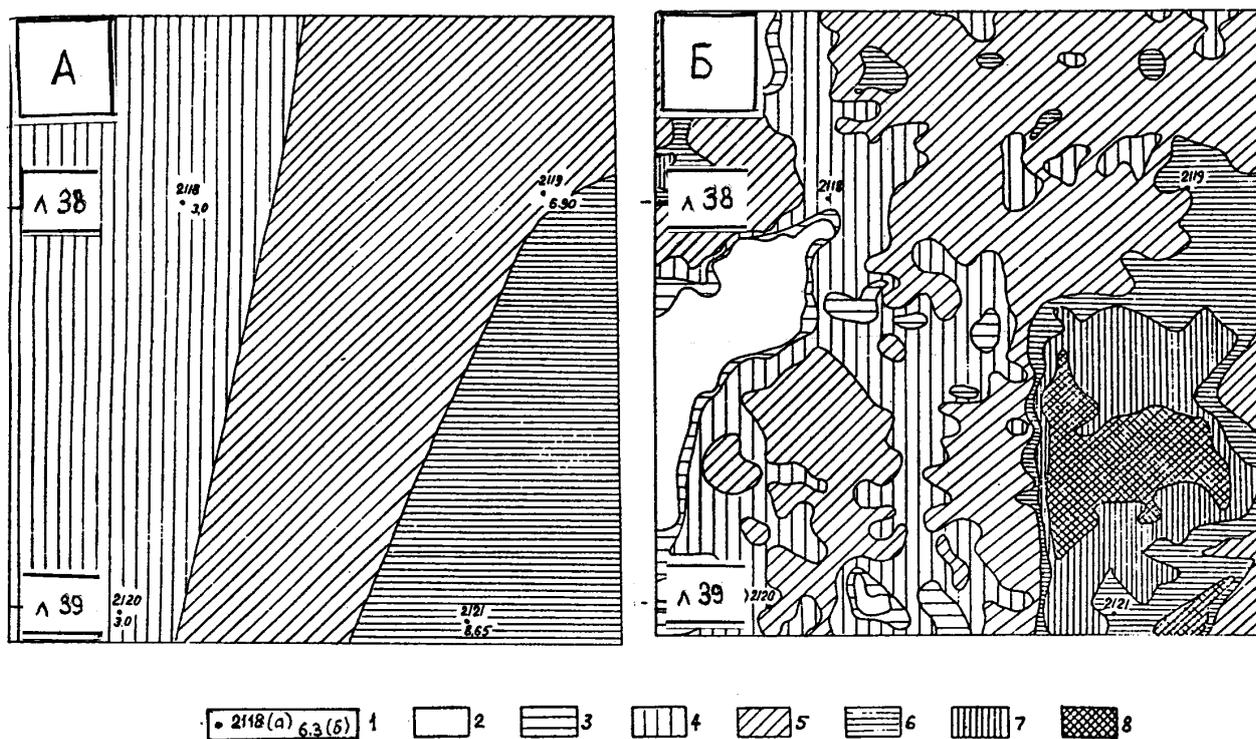


Рис. 26. Сопоставление данных разведки и эксплуатации по бокситовому пласту Кальинского месторождения СУБРа (по Э. Г. Кусмаулю):

- 1 – разведочная скважина (ее номер, мощность руды в м); 2 – безрудные окна;  
 3 – участки неустойчивой мощности (1-2 м); 4-5 – мощности пласта в карстовых воронках: 4 – 2-4 м; 5 – 5-7 м; 6-8 – рядовые мощности пласта: 6 – 7-10 м;  
 7 – 10-15 м; 8 – > 15 м

Исследования по составлению данных разведки и эксплуатации выполнены Э. Г. Кусмаулем и др. (1977) на примере Кальинского месторождения СУБРАа (рис. 26). Удалось установить, что при отработке месторождения между «рудными скважинами» появляются многочисленные безрудные окна, которые не могли быть выявлены применявшейся разведочной сетью. В этой связи рудоносная площадь существенно сокращается. При обосновании запасов категории  $C_1$  для залежей II типа (коэффициент сложности  $K_{сл}$  0,9-0,6) и III типа ( $K_{сл} < 0,6$ ) приемлемой является разведочная

сеть 200×200 м с центральной скважиной в квадрате. Запасы категории *B* могут быть квалифицированы только для залежей II типа по сети 100×100 м. К уже подсчитанным запасам рекомендуется применять поправочные коэффициенты на мелкие безрудные окна. Они составили для залежей II типа 0,78 и III типа 0,66.

Разведанные месторождения *по степени изученности* должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечена квалификация запасов по категориям, соответствующим группе сложности геологического строения месторождения;

- вещественный состав и технологические свойства промышленных типов и сортов руд изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных для проектирования рациональной технологии их переработки;

- запасы совместно залегающих полезных ископаемых (включая породы вскрыши), отнесенные к балансовым, изучены и оценены в степени, достаточной для определения возможных направлений их использования;

- гидрогеологические, инженерно-геологические и другие природные условия изучены с необходимой для составления проекта разработки месторождения детальностью;

- достоверность данных о геологическом строении рудных тел, качестве и количестве запасов подтверждена на представительных участках детализации;

- рассмотрено возможное влияние разработки месторождения на окружающую среду с обоснованием рекомендаций по снижению уровня отрицательного экологического воздействия;

- подотчетные параметры кондиций установлены на основании технико-экономических расчетов;

- рациональное соотношение запасов различных категорий определяется с учетом допустимого предпринимательского риска.

## **2.5. Россыпные месторождения**

### **2.5.1. Общие сведения о россыпях ценных минералов**

*Россыпями* называют скопления рыхлого или сцементированного обломочного материала, содержащего в виде зерен, обломков или агрегатов ценные минералы. Другое используемое определение –

*россыпные месторождения.* Под ними следует понимать скопления ценных минералов, образующих повышенные концентрации в рыхлых (или сцементированных) горных породах определенного возраста и генезиса, отвечающие требованиям кондиций и горно-техническим условиям эксплуатации. Таким образом, второе определение приобретает уже геолого-экономический смысл. Перечень минералов, извлекаемых из россыпей, достаточно обширен и насчитывает более 30 наименований. В их числе:

1. Благородные металлы: самородное золото, электрум, металлы платиноидной группы – изоферроплатина (Pt 86-93,5 %), железистая платина (Pt 74,8 %), платина самородная (Pt 98-99,8 %), иридоосмин (Ir 15,3-46,5 %), осмирид (Os 16,7-39,2 и 35/7-68/3 %), рутениридоосмин (Ir 21,7-45,0 %, Ru 5,9-21,2 %), осмий самородный (Os 83-98,9 %).

2. Оловосодержащие минералы: касситерит –  $\text{SnO}_2$ , торолит –  $\text{Sn}(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_7$ .

3. Вольфрамсодержащие минералы: вольфрамит –  $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{WO}_3$ , шеелит –  $\text{CaWO}_4$ .

4. Титан-цирконовые минералы: ильменит (в ассоциации с лейкоксерном) –  $\text{FeTiO}_2$ , рутил –  $\text{TiO}_2$ , брукит –  $\text{TiO}_2$  анатаз –  $\text{TiO}_2$ , циркон –  $\text{ZrSiO}_4$ , бадделеит –  $\text{ZrO}_2$ .

5. Минералы редкометалльные и содержащие редкоземельные элементы: монацит –  $(\text{Ce}, \text{La})[\text{PO}_4]$ , колумбит –  $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6$ , танталит –  $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6$ , пирохлор –  $\text{NaCaNb}_2\text{O}_6\text{F}$  и микролит (Ta содержащий), ксенотим –  $\text{YPO}_4$ , а также редко встречающиеся – лопарит –  $(\text{Na}, \text{Ce}, \text{Ca})(\text{Nb}, \text{Ti})_2$ , эвксенит  $(\text{Y}, \text{Ce}, \text{Ca})(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_2\text{O}_6$ , бастнезит –  $\text{Ce}[\text{F}(\text{CO})_3]$ , паризит –  $\text{CaCl}_2[(\text{F}_2\text{CO}_3)_3]$  и др.

6. Минералы ювелирного, ювелирно-поделочного и технического назначения: алмаз, топаз, гранаты – пироп, уваровит, демантоид, горный хрусталь, аметист, рубин, сапфир, шпинель, разновидности турмалина, агат, благородный янтарь и др.

7. Грубообломочные скопления: валунчатые руды магнетита, хромита, жадеита, кости мамонта и др.

Минералы, накапливающиеся в россыпях, обладают рядом характерных физических свойств – повышенной плотностью, высокой устойчивостью к агентам выветривания (так называемой «гипергенной устойчивостью»). Как в предшествующие периоды, так и в настоящее время россыпи занимают видное место среди месторождений металлов и определенных видов нерудного сырья.

### **2.5.2. Систематика россыпей. Характеристика ведущих геолого-промышленных типов**

По генезису и условиям формирования россыпи подразделяют на следующие типы: элювиальные, склоновые, включающие делювиальные и пролювиальные разновидности, аллювиальные, прибрежно-морские, сложного строения (гетерогенные), техногенные. Для некоторых видов полезных ископаемых определен интерес представляют россыпи эолового и водно-ледникового происхождения. Приведем их краткую характеристику. При этом в качестве основы рассмотрим особенности объектов, свойственные золотоносным россыпям [21].

*Элювиальные россыпи* сложены неперемененными продуктами выветривания (не только физического, но и химического). Содержание полезных компонентов оказывается близким к его концентрациям в коренных источниках или более высоким вследствие выноса глинистых продуктов выветривания. Россыпи обычно имеют вид плоской залежи, очертания которой в плане нередко совпадают с контурами выходов коренных источников на дневную поверхность.

*Склоновые россыпи* состоят из продуктивных делювиальных, иногда солифлюкционных отложений, образующихся при сползании по склону продуктов разрушения коренных источников и материала элювиальных россыпей. Нередко имеют плащевидную форму. Более разнообразна по обстановкам формирования группа пролювиальных россыпей, связанных с деятельностью временных потоков. Эти россыпи приурочены к ложковым накоплениям, пролювиальным шлейфам, конусам выноса. Пространственно тяготеют к коренным источникам, часто характеризуются резкими колебаниями мощности продуктивных отложений. Для них характерна слабая окатанность обломочного материала, плохая сортировка, неравномерность распределения металла в рыхлой толще. С деятельностью временных потоков также связывают образование золотоносных россыпей, приуроченных к прибортовым частям впадин предгорных долин, к бортам структур грабен-долинного типа и карстовых депрессий.

*Аллювиальные россыпи* образуются в результате размыва и перетложения водными потоками элювия, склоновых и иных рыхлых отложений, содержащих полезные минералы. Представляют собой наиболее распространенный промышленный тип россыпных месторождений. Для них характерно наличие четко выраженного продуктивного пласта, приуроченного чаще к низам разреза рыхлых отложений и трещинам плотика. Пласт может залегать и в толще рыхлых отложений («висячий» пласт). Для аллювиальных россыпей характерна слоистость отложений, сортированность обломочного материала по крупности. В зависимости от положения в долине выделяют русловые, долинные и террасовые россыпи.

*Русловые россыпи* залегают в русле водного потока или под ним. Образуются там, где в сферу влияния водотока попадают коренные источники россыпей или ранее образовавшиеся россыпные накопления. Эти россыпи характерны для речных долин, находящихся в стадии врезания. Разновидностью русловых россыпей являются щеточные, в которых полезный минерал концентрируется в трещинах пород плотика, а также косовые россыпи, залегающие на галечных островах, косах, отложениях и содержащие наиболее подвижные в аллювиальной среде мелкие частицы полезных минералов.

*Долинные россыпи* залегают в пределах современных долин как на коренных породах, так и внутри рыхлой толщи. Формируются на разных стадиях развития рек. Аллювиальным россыпям золота (в том числе долинным) свойственно направленное изменение их основных характеристик по мере увеличения порядка речных долин: снижается глинистость, увеличивается продуктивность. Наиболее богатые россыпи золота обычно приурочены к долинам унаследованного развития III-IV порядков с комплексом террас или погребенных врезов. В качестве примеров можно отметить богатые долинные россыпи р. Миасс на Южном Урале, р. Чай Юрье, Амчак, Ат-Юрях на Колыме, Бодайбо, Маракан в Ленском районе и др. Именно с долинами III-V порядков в основных золотодобывающих регионах России было связано до 75-90 % запасов металла.

*Террасовые россыпи* представляют реликтовые участки долинных россыпей прежних эрозионно-аккумулятивных циклов. Они сохранились от разрушения на отдельных участках при последующей глубинной эрозии и склоновой денудации. При смещении

по склону полезных минералов террасовые россыпи иногда преобразуются в террасо-увальные.

Помимо россыпей современных речных долин в отдельных россыпных провинциях распространены *аллювиальные россыпи древних речных сетей*. К ним относятся долины неогенового, палеогенового, мелового и юрского периодов. В современном рельефе среди отмеченных россыпей выделяют приподнятые (на водоразделах, где они перекрыты более молодыми отложениями) и погребенные. Последние могут быть погребены под отложениями аллювиального, ледникового и даже вулканического происхождения.

Россыпи золота, связанные с древними погребенными долинами, развиты в различных россыпных провинциях страны: на Урале [3, 4], Енисейском кряже, Салаире, в Куларском районе, на Чукотке. В пределах палеодолин развиты так называемые «карстовые» россыпи. Они распространены в пределах развития закарстованных пород и приурочены как к нижним частям разреза, так и к склоновым элементам палеодолин. Нередко они являются гетерогенными образованиями, представленными чередующимися в разрезе аллювиальными, а также склоновыми делювиальными, делювиально-пролювиальными слабоотсортированными фациями. Среди карстовых россыпей встречаются так называемые «косые пласты», образовавшиеся при просадке рыхлой толщи в карстовые полости. Нередко они отличались исключительно высокой продуктивностью (рис. 27). Различный механизм формирования россыпей пролювиально-аллювиального типа в зонах развития карста рассмотрен Н. М. Риндзюнской (рис. 28).

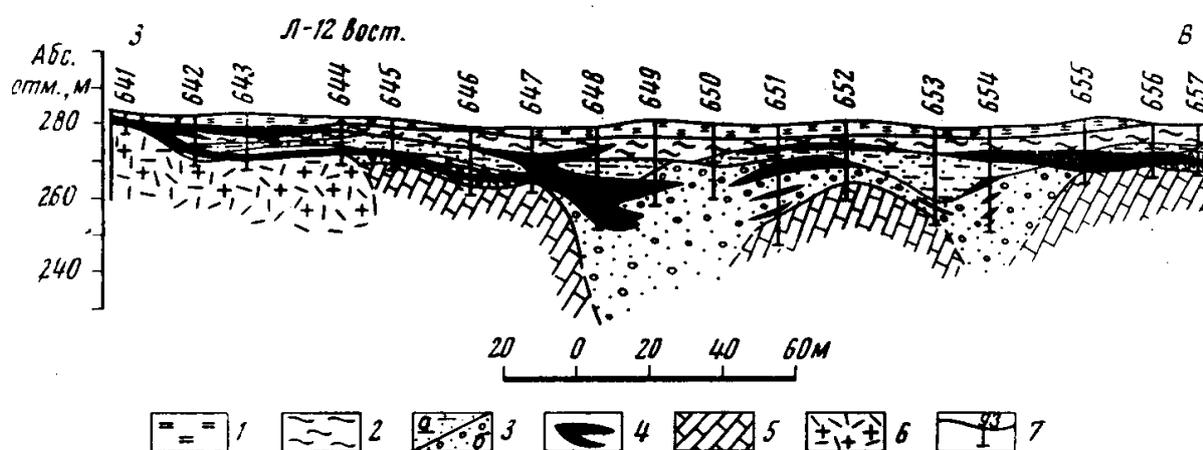


Рис. 27. Типы «косых пластов» в отложениях раннего миоцена Андрее-Юльевского участка (Южный Урал):

1 – плиоцен-четвертичные отложения; 2 – отложения позднего миоцена;  
 3 – глинистые (а), песчано-галечные (б) породы раннего миоцена;  
 4 – участки повышенных концентраций россыпного золота; 5 – известняки;  
 6 – коры выветривания гранитов; 7 – скважины, их номера

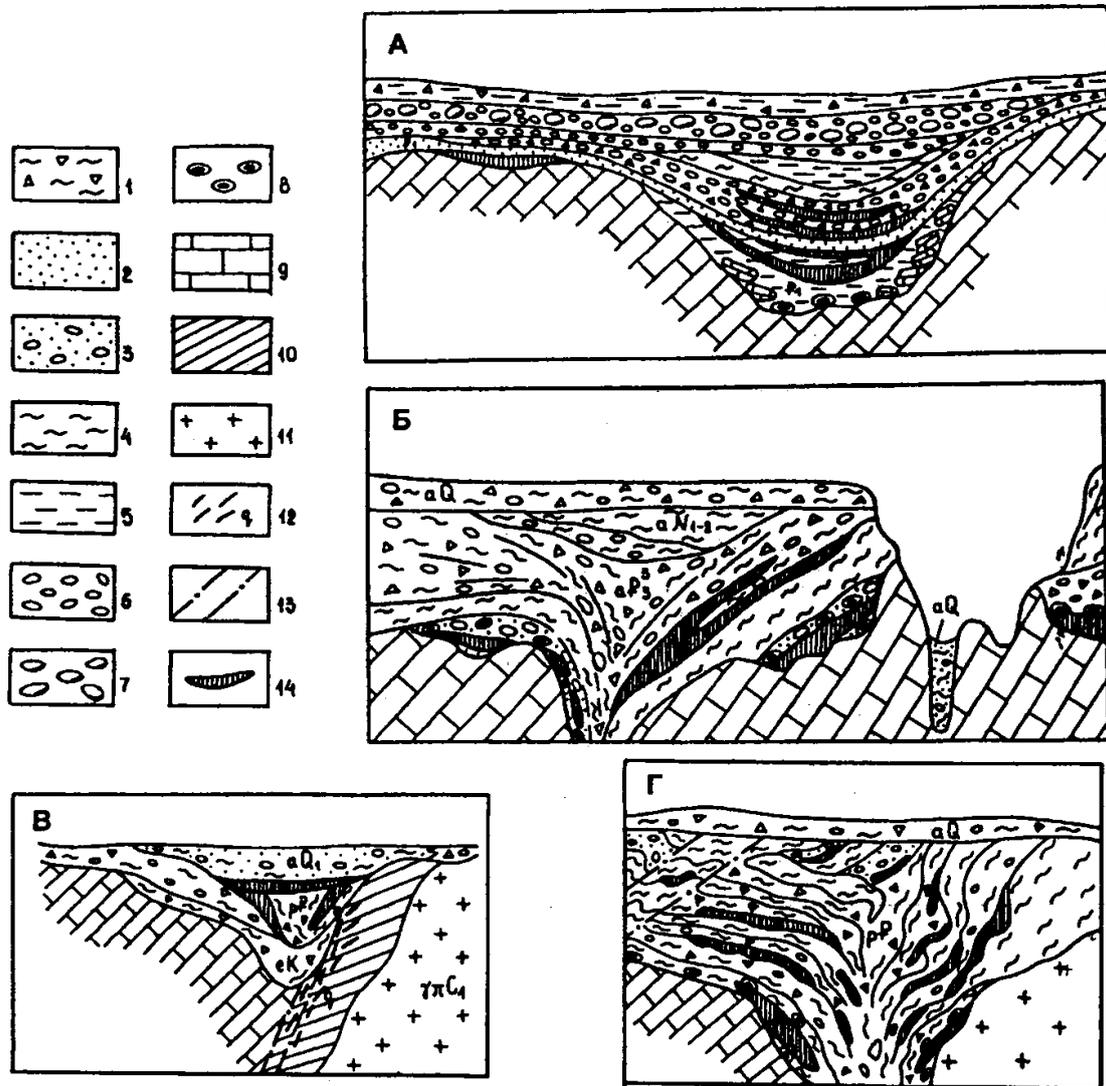


Рис. 28. Типы золотоносных пластов пролювиально-аллювиальных россыпей карстового типа (по Н. М. Риндзюнской):

А – линзовидные пласты, формирующиеся при совпадении скорости просадки со скоростью выполнения карстовой депрессии; Б – «косые пласты», образующиеся в результате пострудных деформаций; В – слабодифференцированные высокоглинистые пласты, формирующиеся при размыве коры выветривания ложками; Г – сложнодифференцированные пласты, возникающие при обрушении карстовых полостей; формирование россыпей синхронно карсту или слегка опережает его;

1 – щебнисто-глинистые отложения; 2 – пески; 3 – пески с галькой; 4 – суглинки; 5 – глины; 6 – галечники; 7 – валунники; 8 – железистые стяжения; 9 – известняки; 10 – вулканогенные породы; 11 – кварцевые порфиры; 12 – кварцевые жилы; 13 – зоны повышенной трещиноватости; 14 – золотоносные пласты

*Прибрежно-морские россыпи* образуются в прибрежной полосе морей под действием волн, прибоя, приливов, отливов и береговых течений за счет материала, приносимого реками, в меньшей степени – в результате абразии минерализованных пород береговых зон. Эти россыпи подразделяют на надводные (пляжевые и террасовые) и подводного берегового склона (донные и бенчевые). Пляжевые россыпи образуются в волноприбойной зоне между уровнями прилива и отлива. Террасовые россыпи являются остатками прибрежно-морских россыпей прежних абразионно-аккумулятивных уровней. Донные россыпи образуются в результате размыва прибрежно-морскими течениями подводных дельт и затопленных морем пляжевых россыпей. Бенчевые россыпи – возникают при абразии коренных пород на участках подводного берегового склона (бенча).

Переходными от аллювиальных к прибрежно-морским являются *дельтовые россыпи*. Они образуются в нижнем течении рек и состоят из отдельных веерообразно расположенных продуктивных пропластков с высоким содержанием полезных компонентов среди песчано-глинистых отложений дельт.

Наибольшее промышленное значение в настоящее время имеют гетерогенные россыпи золота в пределах прибрежных равнин. Они являются единым комплексом перемежающихся морских и аллювиальных россыпей. Возникают эти объекты в результате речной эрозии морских россыпей или морской абразии аллювиальных россыпей при неоднократном перемещении береговой линии в кайнозое (россыпь Рывеем на Чукотке). При трансгрессивном режиме верхние части аллювиальных россыпей разрушаются, а содержащийся в них металл переотлагается вдоль береговой линии с формированием россыпей. Смена трансгрессивного режима на регрессивный влечет за собой обратную трансформацию – образование аллювиальных россыпей за счет перемыва морских. В результате этих процессов для гетерогенных россыпей золота характерно расположение продуктивных скоплений на разных уровнях морского и речного происхождения.

*Техногенные россыпи* представлены отвалами вскрышных пород, гале-эфельными накоплениями, илами бывших отстойников. Они резко отличаются по распределению полезных компонентов и содержанию первоначальных природных россыпей. Отвалы

вскрышных пород формируются за счет непромышленных концентраций полезных минералов, содержащихся в верхней части разреза. Россыпи гале-эфельных отвалов формируются за счет неполноты извлечения минералов из добытых песков вследствие несовершенства применявшихся технологических процессов. Размер частиц полезных компонентов в этих отвалах всегда меньше, чем в «первичных» месторождениях, хотя при отработке эфелей нередко попадаются даже самородки золота. В техногенных накоплениях может быть заключено, по различным оценкам, до 30 % и более от общих запасов уже отработанной россыпи золота.

Особое место в ряду экзогенных месторождений занимают *золотоносные коры химического выветривания*. Они представляют разновидность элювиальных россыпей, образовавшихся в пределах зон с золото-кварцевым, золото-кварц-сульфидным оруденением в условиях длительной тектонической стабилизации и выравнивания рельефа с формированием пенепленов. Объекты подобного типа известны на Урале, в Салаирском, Енисейском кряже и других районах. Оруденение связано как с площадными корами выветривания (мощностью в десятки метров), так и линейными (мощностью до сотен метров), развивающимися по тектонически ослабленным зонам. Главными факторами формирования подобных объектов являются: наличие уже достаточно концентрированного оруденения в коренных породах; геолого-геоморфологические условия, благоприятные для формирования глинистого элювия на длительном временном отрезке (в мезозое); расположение участков вне зоны активного эрозионного размыва. Выделяют два подтипа золотоносных глинистых кор выветривания: а) со значительным содержанием свободного шлихового золота (до 60 %), улавливаемого аппаратами по схеме обогащения песков россыпей; б) с преимущественным содержанием свободного тонкого и тонкодисперсного золота (70-80 %), извлекаемого по гидрометаллургическим рудным схемам.

### ***2.5.3. Геолого-геоморфологические факторы россыпеобразования, их учет при прогнозировании и поисках***

Россыпи – это вторичные месторождения, образующиеся при определенных условиях. Эти условия проявляют себя в виде сово-

купности *геолого-геоморфологических факторов россыпеобразования*. К ним следует отнести [3]:

1. Наличие коренных источников, отвечающих рангу россыпеобразующих рудных формаций.

2. Благоприятные климатические обстановки, предопределяющие глубокое химическое выветривание горных пород и руд, способствующее высвобождению полезных компонентов.

3. Тектонические подвижки (эпохи тектонической активизации), обуславливающие денудационный срез коренных источников и перемещение обломочного материала в зоны аккумуляции.

4. Эрозионно-аккумулятивная деятельность речных систем и флювиальных потоков, приводящая к дифференциации обломочного материала и накоплению ценных минералов в определенных частях разреза рыхлых толщ.

Учет перечисленных факторов важен не только на этапе прогнозной оценки перспективных площадей, но и при проведении поисковых и разведочных работ.

Кратко охарактеризуем перечисленные факторы.

1. Понятие о *россыпеобразующих рудных формациях* (РРФ) сформулировано академиком Н. А. Шиловым в 1970 г. РРФ – это типы коренных источников, устойчивых к выветриванию минералов, за счет которых возникновение россыпей представляется наиболее вероятным. При этом коренной источник не всегда имеет самостоятельное промышленное значение. Нужно, чтобы эродированный блок минерализованных пород обладал значительной продуктивностью – соотношением количества ценных минералов в эродированной части коренного источника к его количеству, перешедшему в россыпь. Обычно в россыпях золота накапливается часть зерен, обладающая повышенной гидравлической крупностью – 6-8 см/с и более. Класс мелких золотинок рассеивается, образуя ореолы и потоки рассеяния уже за пределами контуров россыпей.

Изучение вещественного состава руд из золоторудных месторождений Урала с привлечением данных по фазовому составу золотоносных пород позволило охарактеризовать россыпеобразующий потенциал ведущих золоторудных формаций [37].

Оруденение *золото-полисульфидно-кварцевой формации* имеет основное россыпеобразующее значение. Выход свободного золота в среднем составил 63,6 % (по данным изучения 20 проб), а в окисленных рудах возрос до 88,3 %. Большое значение при форми-

ровании россыпей имело широкое развитие коренных источников подобного типа в основных рудно-россыпных районах Урала.

Оруденение *золото-кварцевой формации* также характеризуется высоким россыпеобразующим потенциалом. Выход свободного золота в изученных рудах достигает значения 70 %. Распространение оруденения подобного типа более ограниченное.

Оруденение *золото-сульфидной формации* имеет более низкое россыпеобразующее значение. Большая часть сконцентрированного в этих рудах золота связана с сульфидами и представлена тонкодисперсными выделениями. Выход свободного золота в среднем составляет 16 %, возрастая в окисленных рудах до 54,2 %.

Оруденение других развитых в регионе золоторудных формаций – золото-известково-силикатной, золото-алюмосиликатной (скарновой) – имеет невысокий россыпеобразующий потенциал и имеет весьма ограниченное распространение.

По отношению к позиции коренных источников и с учетом условий формирования россыпи можно подразделять на две крупные генетические группы: а) россыпи ближнего сноса; б) россыпи дальнего сноса и переотложения.

К объектам *ближнего сноса* относят элювиальные, склоновые и пролювиальные, большинство аллювиальных россыпей, часть россыпей прибрежно-морского генезиса. Они характеризуются тесной пространственной связью с коренными источниками. Последние могут быть в различной степени эродированы. Промышленное значение имеют россыпи ближнего сноса всех минеральных видов. Они наиболее характерны для минералов повышенной плотности и устойчивости (золота, платины, алмазов), а также для минералов с умеренной и малой миграционной способностью (олова, вольфрама, редких металлов). Сюда же следует включить те виды сырья в россыпях, для которых большое значение приобретает достаточная крупность обособлений (драгоценные камни, пьезокварц).

Большое значение при изучении россыпей ближнего сноса приобретает определение возможной геологической позиции коренных источников. С этой целью рекомендуется составление комплексных продольных профилей по речным долинам на основе обобщения данных по поперечным геологическим разрезам. Пример подобного продольного профиля по аллювиальным россыпям золота приведен на рис. 29.

Россыпи *дальнего сноса и переотложения* характерны для минералов, обладающих умеренной плотностью и высокой абразивной прочностью. К ним относят прибрежно-морские комплексные россыпи титано-циркониевых минералов, алмазов, янтаря, а также аллювиальные россыпи (в долинах IV-V порядков) алмазов, драгоценных камней, косовые россыпи мелкого золота. Эти объекты не проявляют видимой связи с коренными источниками, часто образуются за счет промежуточных коллекторов.

Средние размеры зерен самородного золота и МПГ в россыпях обычно превышают средний размер их выделения в коренных источниках. Эта закономерность логична и связана с выносом мелких и тонких фракций металла за пределы промышленного контура россыпей. Вместо с тем в перемещенных корах химического выветривания, в глинистых несортированных толщах карстовых депрессий возможны значительные концентрации мелкого и тонкого золота размером менее 0,1 мм.

Самородное золото в россыпных месторождениях по классификации, предложенной ЦНИГРИ, подразделяют:

по размеру частиц – на тонкодисперсное (размер зерен менее 0,01 мм), пылевидное (0,01-0,05 мм), тонкое (0,05-0,10 мм), весьма мелкое (0,10-0,25 мм), мелкое (0,25-1,0 мм), среднее (1,0-2,0 мм), крупное (2-4 мм) и весьма крупное (более 4 мм);

по форме выделений – идиоморфное, неправильные и смешанные типы частиц;

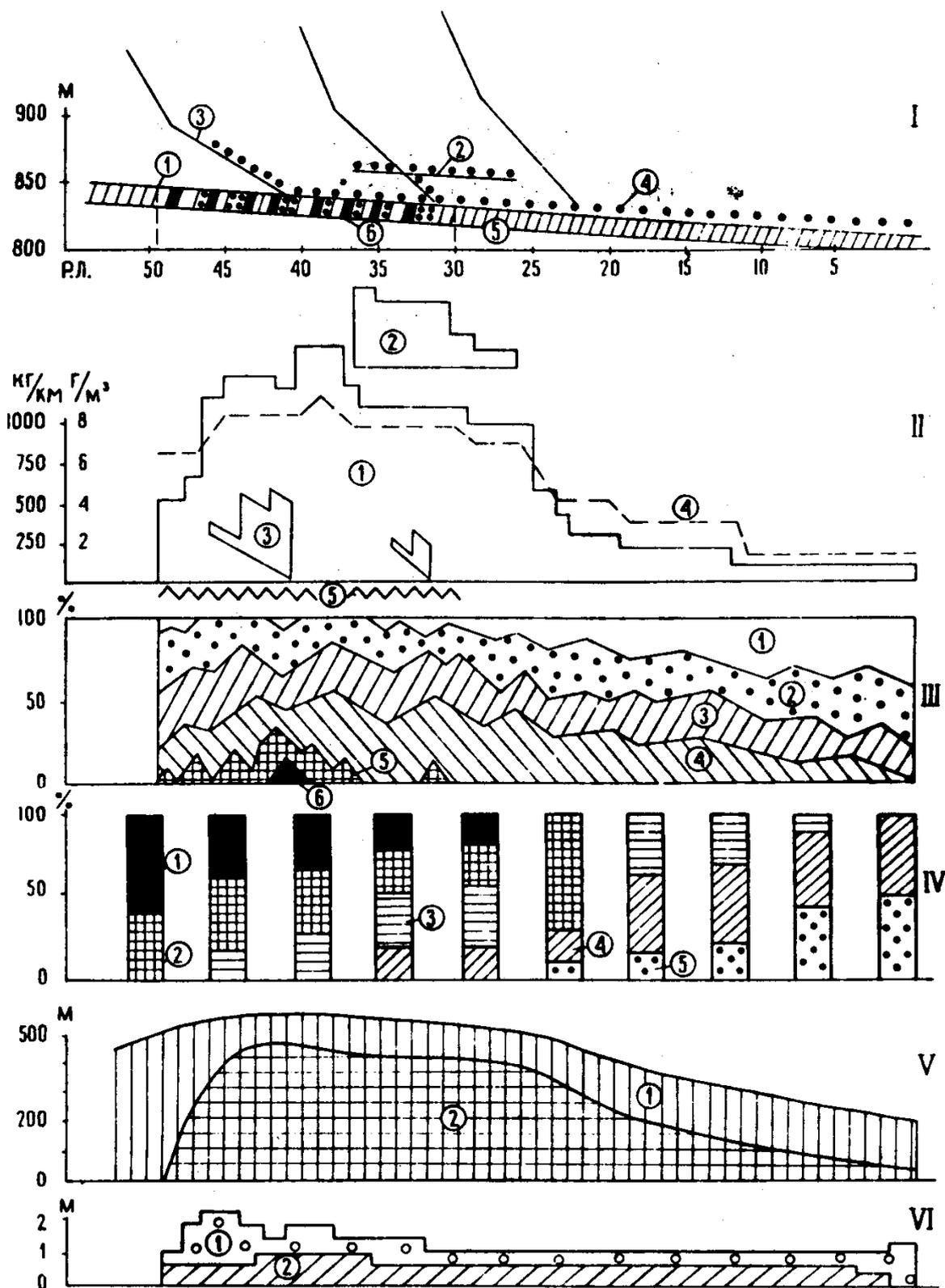
по степени окатанности – неокатанные, слабоокатанные, средне окатанные, хорошо окатанные, совершенно окатанные.

2. Изучение уральских россыпных месторождений показало, [37, 38], что оптимальные условия для их образования существовали в *эпохи пенепленизации*. Именно при формировании «зрелого пенеплена» осуществляется глубокое окисление руд коренных источников РРФ и вмещающих пород. Помимо этого проявляет себя сопряженность во времени процессов химического выветривания и эрозионно-аккумулятивной деятельности рек.

Роль процессов химического выветривания многообразна и проявляется:

– в кардинальном преобразовании химического состава рудовмещающих пород при значительном уменьшении их объемной массы;

- возникновении в конечных продуктах выветривания двух основных минеральных фаз – глинистой и песчано-дресвяно-щебнистой, ведущих себя различно при последующих процессах осадочной дифференциации обломочного материала;
- значительном изменении минерального состава акцессориев, входящих в тяжелую фракцию формирующихся при размыве кор выветривания отложений;
- в существенном гипергенном преобразовании самородного золота.



3. Помимо климата важнейшее значение на формирование россыпей оказывали процессы *тектонической активности*. Для Урала этот вопрос рассмотрен А. П. Сиговым [38]. Им выделено 7 тектоно-климатических этапов. Им отвечают временные периоды

процессов россыпеобразования и основные эпохи экзогенной металлогении.

I этап (поздний палеозой-ранний триас) продолжался 5 млн лет. Тектонический режим (рифтогенный) привел к излиянию лав преимущественно основного состава, формированию рифтогенных структур (грабенов). В их пределах в условиях субаридного климата шло накопление красноцветных отложений полимиктового состава. Шлиховое золото в них отсутствует.

II этап (средний-поздний триас, уходящий в раннюю юру), имел продолжительность 30 млн лет. Отмечена некоторая тектоническая стабилизация. Переменно-влажный климат способствовал проявлению в отдельных районах процесса пенепленизации с формированием кор выветривания аллитного, ферриаллитного типов. Их размыв привел к образованию мелких пластовых залежей бокситов в Волчанской и Веселовской раннемезозойских депрессиях. В накопленных пестроцветных отложениях установлено в отдельных интервалах шлиховое золото, реже платина. В верхних частях разреза ( $T_3-I_1$ ) с полимиктовыми отложениями связано формирование буроугольных пластов значительной мощности.

---

Рис. 29. Комплексный продольный профиль по аллювиальной россыпи (по Е. Я. Синюгиной, Э. Д. Избекову):

I – диаграмма строения месторождения в продольном профиле:

1 – днище главной долины; 2 – терраса главной долины; 3 – днища притоков; 4 – положение россыпи; 5 – коренные породы; 6 – возможные коренные источники.

II – диаграммы продуктивности россыпей на участках месторождения:

1 – днище главной долины; 2 – терраса главной долины; 3 – днища долин притоков; 4 – среднее содержание по россыпи у днища главной долины; 5 – участок поступления золота из коренного источника.

III – диаграмма крупности золота (мм) по классам:

1 – менее 0,5; 2 – (0,5-1); 3 – (1-2); 4 – (2-4); 5 – (4-8); 6 – более 8.

IV – диаграмма окатанности золота в классе 2-4 мм:

1 – плохая; 2 – слабая; 4 – хорошая; 5 – совершенная.

V – диаграмма ширины днища россыпи: 1 – днища; 2 – россыпи.

VI – диаграмма средней мощности пласта в днище главной долины (по блокам):

1 – в надплотиковой части; 2 – в коренных породах

III этап (средняя юра – сеноманский век позднего мела) оказался наиболее продолжительным (113 млн лет) и благоприятным для россыпеобразования. Характеризовался относительной тектонической стабильностью Урала и медленным прогибанием терри-

тории Зауралья (что привело в позднем мелу к трансгрессии моря на материковую сушу). Процессы химического выветривания преимущественно сиаллитного (каолинового) профиля способствовали интенсивному выравниванию рельефа, формированию обширного «мезозойского пенеплена». Промышленные россыпи золота и платины связаны с отложениями лангурской (средняя-поздняя юра) и мысловской свит (сеноманский век позднего мела) в пределах палеодолин (мезозойских эрозионно-структурных депрессий). Эти продуктивные на благородные металлы отложения образовались за счет размыва химических кор выветривания пород, содержащих коренные источники, отвечающие РРР.

IV этап (поздний мел-палеоген) имел продолжительность порядка 70 млн лет. На этом временном отрезке формирование промышленных россыпей золота не происходило. Прогибание Зауралья, усилившееся в позднем мелу и продолжавшееся в палеогене, привело к неоднократным морским трансгрессиям. При повышении базиса эрозии аккумулятивная деятельность речных систем практически прекратилась. В сформировавшихся отложениях аллювиально-озерного типа (сохранившихся в карстовых зонах) присутствует исключительно мелкое и тонкое золото. С прибрежно-морскими отложениями позднего олигоцена (куртамышская свита) в алеврито-песчаных и галечных горизонтах произошло накопление титан-циркониевых минералов.

V этап (раннемиоценовый) имел продолжительность порядка 10 млн лет. Произошло общее поднятие региона, что привело к активизации эрозионных процессов, размыву и переработке уже сформировавшихся продуктов мезозойского пенеплена, образованию новой раннемиоценовой поверхности выравнивания. В ее пределах заложилась новая речная сеть. Она большей частью наследовала контуры мезозойских депрессий, производя переувлажненных там металлоносных отложений. С раннемиоценовыми отложениями (наурзумской свитой) связана промышленная золотоносность.

VI этап (позднемиоценовый) продолжался 9,5 млн лет. Характеризовался относительной тектонической стабильностью и засушливым семиаридным климатом. Засушливые периоды прерывались ливневыми дождями. Эти ливневые потоки размывали склоны, что сопровождалось их постепенным параллельным отступанием. На склонах формировались глубоковрезанные лога, а у их подножий

шлейфы делювиально-пролювиального генезиса. В подобных условиях развитие рельефа происходило по схеме образования педипленов. С ложковой сетью связано формирование богатых россыпей ближнего сноса (делювиально-пролювиальных, аллювиально-пролювиальных). С этими отложениями (светлинской, жиландинской свитами) в отдельных районах помимо золота связаны россыпи горного хрусталя, камнесамоцветных и тантало-ниобиевых минералов.

VII этап (плиоцен-четвертичный) имеет продолжительность порядка 5 млн лет. Отмечен прерывистыми тектоническими подвижками. Активизировались денудационные процессы, способствовавшие заложению речной сети новых очертаний, интенсивному проявлению склоновых процессов. Климат сменился на умеренно холодный и холодный гумидный. В этих условиях в пределах речных долин была сформирована система речных террас (4, реже 5). С аллювиальными отложениями речных долин и разветвленной сетью логов связаны многочисленные россыпи золота, платиноидов. В тех случаях, когда реки унаследовали палеодолины, золото в россыпях накапливалось в основном за счет перемыва более древних золотоносных образований (включая металлоносные коры выветривания).

4. Как уже отмечалось, ценные минералы концентрируются в элювиальных, делювиальных, пролювиальных, аллювиальных и прибрежно-морских отложениях. Если рассматривать основной ценный минерал россыпей – золото, то наибольшее промышленное значение имеют аллювиальные россыпи (в первую очередь, долинные, русловые).

Источником золота в россыпях являются коренные источники, отвечающие россыпеобразующим рудным формациям, и обогащенные металлом промежуточные коллекторы. Золото перемещается в базисные зоны временными и постоянными водотоками. В речных долинах оно под влиянием эффекта гравитационной дифференциации обломочного материала накапливается в определенных частях разреза в виде лентовидных, линзовидных, гнездобразных и иных обогащенных локальных участков. Выпадение золота из водных потоков происходит под влиянием разнообразных «россыпеобразующих барьеров», таких как изменение уклона рек, благоприятные для осаждения металла формы рельефа плотика

(щеточный, карстовый), участки расширения или сужения долин, впадение притоков и т. д.

Добыча золота из россыпей Урала насчитывает почти 200-летнюю историю. За этот период в первую очередь были отработаны (и порой неоднократно) россыпные месторождения, связанные с современными речными системами. Истощенность россыпной золотоносности в этих долинах заставила в начале 60-х годов прошлого века поставить под сомнение вопрос о реальной перспективности региона в отношении добычи благородных металлов из россыпей. Но с этим утверждением не все были согласны.

Начиная с середины 60-х годов на Урале были проведены региональные поисково-геоморфологические работы масштаба 1:100000-1:200000 под руководством А. П. Сигова. Ими были охвачены все основные рудно-россыпные районы. Выполненное с новых позиций обобщение огромного фактического материала позволило произвести кардинальную переоценку перспектив золотоносности региона, обосновать необходимость проведения поисков, разведки с последующим вовлечением в промышленное освоение мезозойских и иных типов древних (дочетвертичных) россыпей. При проведении этих работ за основу был принят всесторонний учет геолого-геоморфологических факторов, уже охарактеризованных выше. Была доказана важная роль в локализации россыпей благородных металлов *мезозойских эрозионно-структурных депрессий*. Последующие геологоразведочные работы (60–90-е годы) позволили выявить, разведать и передать золотодобывающей промышленности многие десятки россыпных месторождений. В результате проведенных работ балансовые запасы в россыпях региона были увеличены в 2,5 раза, а уровень добычи из них возрос в 1,5 раза [37].

#### **2.5.4. Способы промышленного освоения россыпных месторождений**

Россыпи разрабатываются открытым и подземным способами. В зависимости от геологических и горнотехнических условий залегания отработка ведется методом сплошной или раздельной выемки. Сплошная выемка применяется при дражном и гидравлическом способах, раздельная – при открытом и подземном способах. Открытый способ разработки подразделяют на дражный, гидравличе-

ский, экскаваторный, бульдозерно-скреперный, комбинированный. Учет намечаемого способа разработки необходим уже на стадии разведки россыпного месторождения.

*Дренажный способ* применяется для разработки обводненных россыпей с тальми или предварительно оттаянными породами. По характеру драгирующего аппарата они подразделяются на черпаковые и гидро- и пневмовсасывающие.

*Гидравлический способ* применяется для разработки россыпей преимущественно песчано-гравийного состава шириной не менее 20-40 м. Размыв пород с помощью гидромонитора наиболее пригоден для разработки террасовых, склоновых, ложковых россыпей с ограниченным притоком воды и на отдельных площадях долинных россыпей с невысокой обводненностью. Подача пульпы на промприбор осуществляется гидроэлеваторами и землесосными установками.

*Экскаваторный способ* предусматривает использование роторных экскаваторов с перегружателями и ленточными транспортерами при разработке россыпей, залегающих на глубинах от 3 до 40-50 м. Способ целесообразно использовать при разработке безводных россыпей, лишенных валунов, или при их невысоком содержании.

*Бульдозерно-скреперный способ* наиболее целесообразно использовать для разработки террасовых, маловодных россыпей, а также долинных (многолетнемерзлотных) с ограниченными запасами при глубинах до 9-12 м.

*Подземный способ* применяется при глубине залегания продуктивного пласта в 8 м в многолетнемерзлых породах и не менее 20-30 м в талых породах. Вскрытие россыпей осуществляется наклонными стволами (в мерзлых породах) или вертикальными (в талых породах). Подготовительные и нарезные выработки проходятся по пласту песков.

*Скважинная гидродобыча* является перспективным геотехнологическим методом добычи маловалунистых, рыхлых и слабосцементированных залежей. Способ основан на гидравлическом принципе разрушения горного массива у забоя скважины, переводе полезного ископаемого на месте залегания в состояние гидросмеси и транспортировке ее на поверхность земли. В настоящее время метод находится в стадии опытно-промышленного освоения на титанциркониевых россыпях.

### **2.5.5. Разведка россыпей**

*Группировка месторождений по сложности геологического строения*

По условиям залегания, размерам, степени выдержанности продуктивных пластов, равномерности распределения полезных минералов россыпные месторождения соответствуют 1-, 2-, 3- и 4-й группам сложности [21].

*1-я группа* – крупные, хорошо выдержанные по ширине и длине россыпи со сравнительно равномерным распределением полезных компонентов, относительно постоянной мощностью продуктивного пласта, сравнительно ровным плотиком. Эта группа представлена прибрежно-морскими титан-циркониевыми россыпями (Центральное, Малышевское в Украине), титановыми месторождениями кор выветривания.

*2-я группа* – крупные и средние относительно выдержанные по ширине и длине россыпи с неравномерным распределением полезных компонентов со сравнительно постоянной мощностью и обычно неровным плотиком. Месторождения представлены аллювиальными россыпями золота (Куларский район, Сосьвинское на Урале), МПГ (Кондер и др.); гетерогенными россыпями золота (Рывеем); аллювиальными россыпями олова (Тенкели, Чокурдах и др.); аллювиальными и иного генезиса россыпями алмазов (в Якутии – Эбелях, Ирелях; на Урале – Северо-Колчинская, Рассольнинская); рядом прибрежно-морских титан-циркониевых, янтарных россыпей; перемещенными корами выветривания с ниобием и редкими землями (Томтор).

*3-я группа* – невыдержанные по ширине и мощности россыпи различных полезных ископаемых с неравномерным распределением полезных компонентов, узкой струйчатостью, чередованием относительно бедных участков с обогащенными. Нередко значительная часть запасов полезных компонентов содержится в западинах и трещинах плотика. В эту группу входят средние и мелкие долинные россыпи на сильно трещиноватом плотике, террасовые, русловые россыпи, часть месторождений кор выветривания, техногенные россыпи значительной протяженности.

*4-я группа* – россыпи весьма сложного строения, очень невыдержанные по ширине и мощности, с неравномерным распределе-

нием полезных компонентов. В промышленном контуре россыпи обычно имеется большое количество участков с непромышленным содержанием полезных компонентов; поверхность плотика очень неровная; размеры зерен полезных минералов непостоянны, часты самородки. Месторождения представлены мелкими аллювиальными, склоновыми и ложковыми россыпями золота, платины, ювелирно-поделочных камней, россыпями золота в карстовых полостях. Разведка россыпей 4-й группы, как правило, совмещается с разработкой.

#### *Основные положения методики разведки*

По разведанным месторождениям необходимо иметь топографическую основу масштаба 1:2000-1:5000. Все разведочные и эксплуатационные выработки, профили геофизических наблюдений должны быть инструментально привязаны.

По району оцениваемого месторождения следует иметь карту россыпной минерализации масштаба 1:50000-1:200000 на кондиционной геологической основе с элементами геоморфологии и литологии рыхлых отложений. Прилагаемые к карте графические материалы должны обосновывать комплексную оценку прогнозных ресурсов, содержать данные шлихового опробования. Эти материалы должны отражать структурно-геологическую позицию россыпей, их взаимоотношение с коренными источниками, закономерности размещения известных коренных и россыпных месторождений и проявлений, проявления неотектонических движений, возраст и генезис россыпей, степень их разведанности и освоения. На картах следует выделить участки различной степени перспективности с оцененными прогнозными ресурсами.

Геологическое и геоморфологическое строение россыпного месторождения должно быть детально изучено и отражено на геолого-геоморфологической карте масштаба 1:50000-1:25000, сопровождаемой разрезами рыхлых отложений и картой плотика [21]. При разведке следует выяснить: глубину, условия залегания, форму, размеры, мощность продуктивного пласта; вещественный и зерновой составы «песков», «торфов» и содержащихся в «песках» полезных минералов; особенности их изменения по длине, ширине и мощности пласта; рельеф плотика; изменчивость концентраций полезных минералов в плане и разрезе.

Разведка россыпных месторождений производится с использованием буровой разведочной системы (скважины колонкового и

ударно-канатного бурения), горно-разведочной системы (поверхностные – до 5 м и подземные выработки) и комбинированной горно-буровой системы. Выбор разведочной системы, тип и сечение горных выработок, диаметр скважин, способы опробования зависят от вида полезного ископаемого, глубины залегания продуктивного пласта, состава и состояния пород, степени их обводненности и экономической целесообразности. Применяемая разведочная система должна обеспечить выяснение особенностей геологического строения месторождения и слагающих его продуктивных пластов, их условий залегания и качества, значения основных подсчетных параметров.

Последовательность проведения разведочных работ в пределах речной долины, сопровождаемая изменением представлений о размещении россыпных концентраций, отражена на рис. 30 [16].

Россыпи золота, платины разведываются скважинами колонкового и ударно-канатного бурения диаметром 150-225 мм, а также траншеями, шурфами и скважинами большого диаметра (500-700 мм). В отдельных случаях при разведке россыпей ювелирных камней требуется проходка разведочных карьеров с использованием валового опробования.

Разведка россыпей олова, вольфрама, редких металлов осуществляется скважинами колонкового бурения (иногда ударно-канатного) диаметром 100-212 мм, а прибрежно-морских титанцирко-ниевых россыпей и кор выветривания – скважинами диаметром около 100 мм.

Для оптимального размещения буровых скважин необходимо применять (особенно на глубокозалегающих объектах) *геофизические методы разведки*. С их помощью изучается рельеф коренных пород, прослеживаются погребенные долины, определяется мощность рыхлых отложений, выделяются таликовые зоны и т. д.

Расположение разведочных выработок и плотность разведочной сети определяют с учетом вида полезного ископаемого, формы, условий залегания, размеров, строения продуктивного пласта, характера распределения полезного компонента. При задании разведочных линий необходимо учитывать особенности оцениваемого

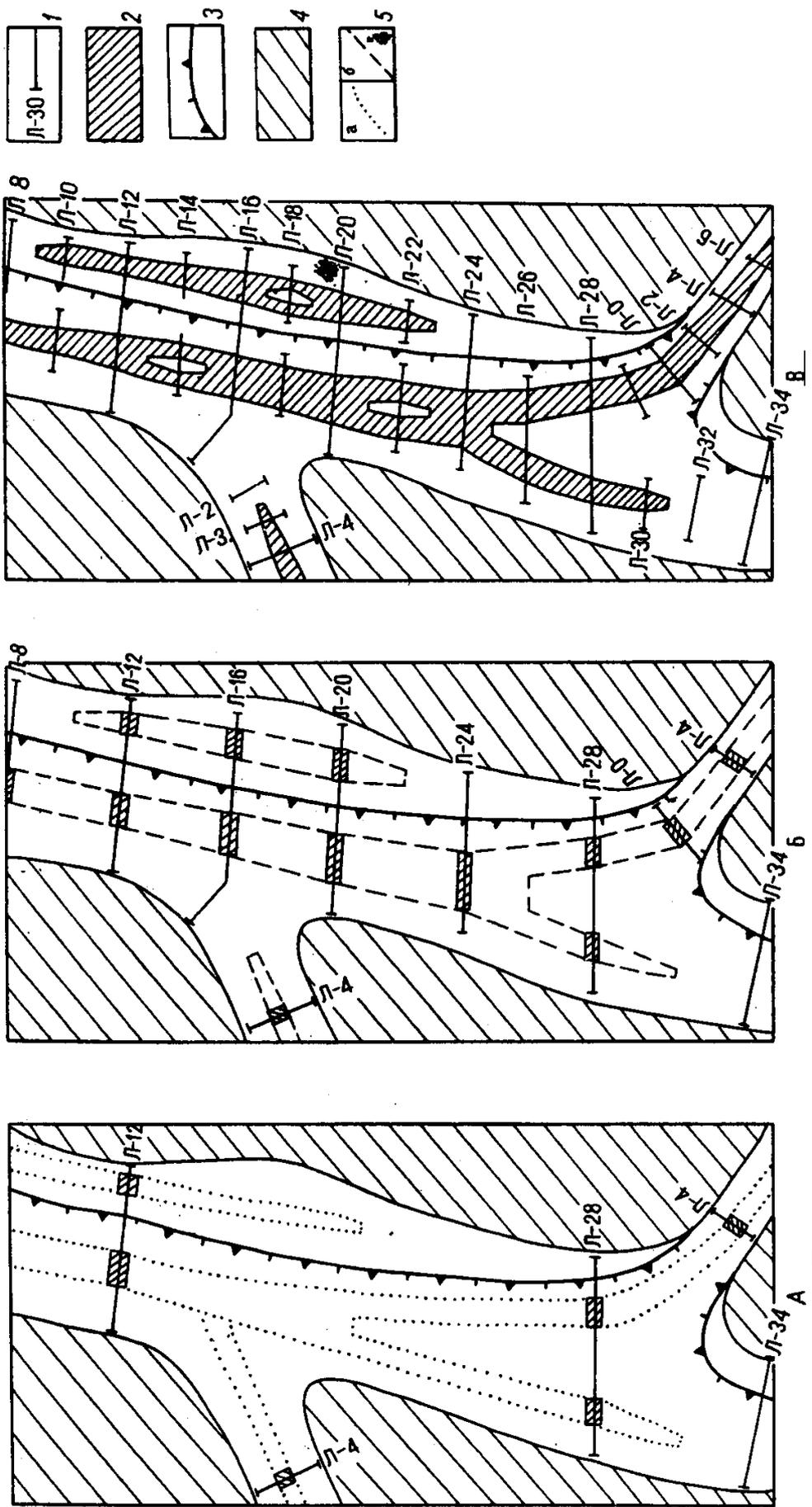


Рис. 30. Последовательность проведения геологоразведочных работ на россыпи (по Ю. С. Будилину и др.):

А – поисковые работы; Б – оценочные работы; В – разведка месторождения;

1 – разведочные линии; 2 – участки с установленной промышленной металлоносностью;

3 – бровка эрозивно-аккумулятивной террасы; 4 – склоны долины; 5 – контуры россыпи;

а – после проведения поисковых работ, б – после разведки

месторождения, в частности – наличие участков возможного поступления в долину полезных компонентов из боковых притоков; участки резкого изменения структурного плана коренных пород плотика.

Для большинства аллювиальных, пляжевых россыпей большой протяженности при небольшой ширине следует применять разведочную сеть с расстоянием между разведанными линиями, в 10-20 раз превышающими интервалы между выработками по линии.

Для россыпей среднего и мелкого масштаба, характеризующихся невыдержанностью по ширине и мощности с неравномерным распределением металла, в ряде случаев эффективно использовать двоянные или строенные линии скважин (рис. 31). При этом, благодаря использованию при разведке необходимого объема групповой пробы в поперечном сечении россыпи [16], повышается достоверность подсчета запасов.

Для древних прибрежно-морских и крупных склоново-пролювиальных россыпей целесообразно применять прямоугольную сеть, в которой расстояние между линиями превышает интервалы между выработками не более чем в 2-4 раза. В тех случаях, когда ширина россыпи соизмерима с ее длиной, используется квадратная разведочная сеть. Квадратная сеть применима и к карстовым, элювиальным и некоторым склоновым россыпям.

Разведку техногенных неглубокозалегающих россыпей целесообразно проводить траншеями или с использованием дражных ходов при валовом опробовании. Повторную разведку дражных полигонов можно проводить шурфами или скважинами по прямоугольной или квадратной сети, учитывая, что первоначальное строение россыпи в процессе разработки было нарушено полностью. При выборе технических средств, а также расстояний между линиями и выработками могут быть использованы обобщенные данные по разведке отечественных россыпей. Эти рекомендации, применимые к россыпям золота и платиноидов, отражены в табл. 11. Приведенные данные о плотности сети нельзя рассматривать как обязательные. Рациональные параметры разведочной сети могут быть скорректированы с учетом геологического и геоморфологического строения участка, анализа накопленных материалов по объекту оценки или аналогичным месторождениям.

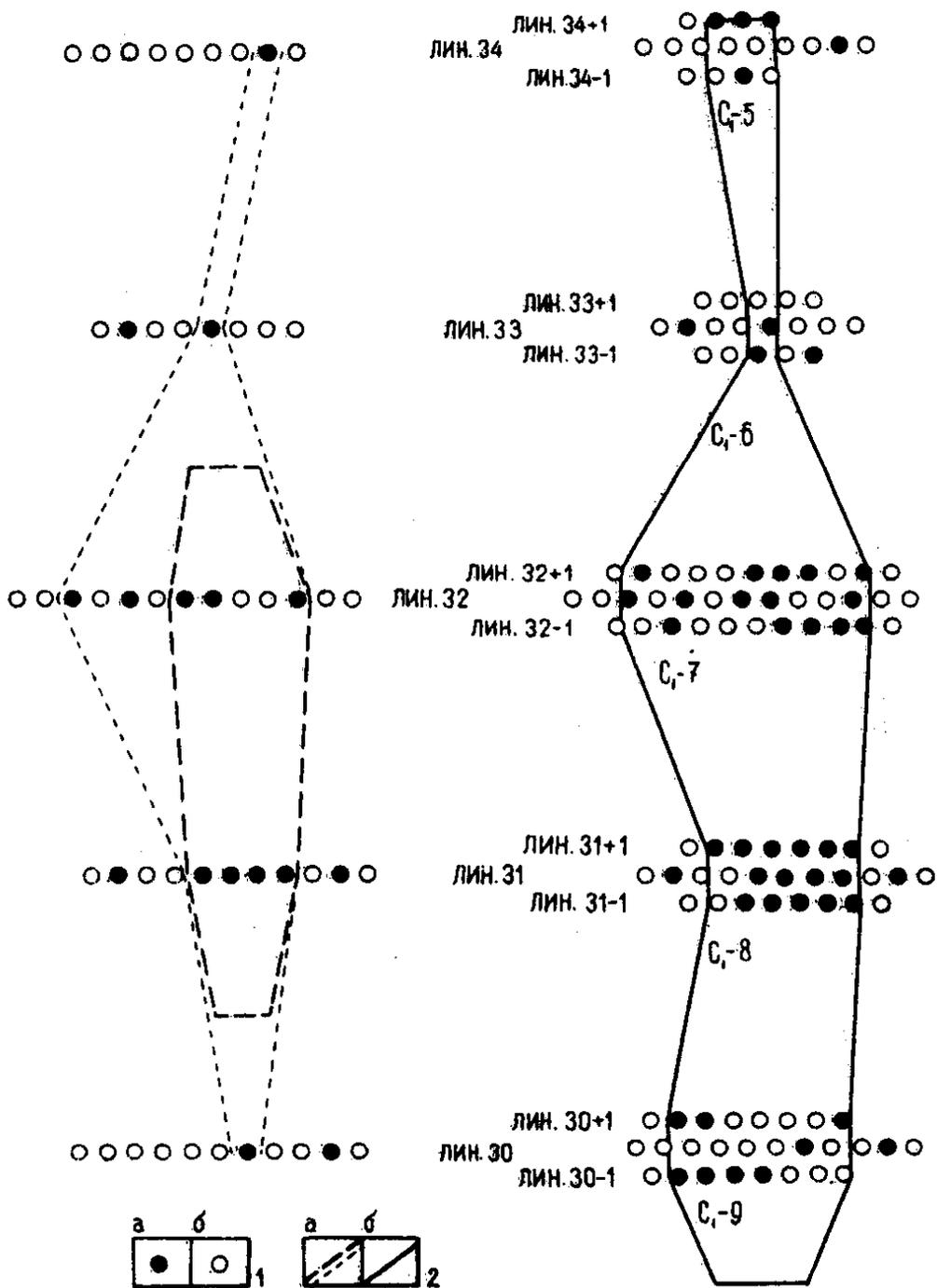


Рис. 31. Морфология россыпи по данным одинарных и строенных линий (по Ю. С. Будилину и др.):

- 1 – скважины: а – промышленные, б – непромышленные;  
 2 – контур россыпи: а – предварительные варианты по данным одинарных линий;  
 б – окончательные варианты по данным строенных линий

**Обобщенные данные о плотности сети разведочных выработок  
при разведке россыпных месторождений золота и МПГ  
(Методические указания..., 2007, с упрощениями)**

Группа сложности	Характеристика и морфологические типы россыпей	Рациональный способ разведки	Ширина россыпи, м	Расстояния, м				Длина секций опробования в траншеях, м
				B		C <sub>1</sub>		
				между линиями	между выработками	между линиями	между выработками	
2	2.1. Крупные и средние россыпи с относительно выдержанным по ширине и мощности продуктивным пластом, неравномерным распределением металла	Линии скважин или шурфов, ориентированных поперек вытянутости пласта	Более 100	150-200	20	300-400	20-40	—
	2.2. Крупные и средние россыпи с относительно выдержанным по ширине продуктивным пластом, с непостоянной мощностью, с неравным гнездово-струйчатым распределением металла	Линии траншей, шахт и шурфов с рассечками, ориентированными поперек вытянутости пласта	Менее 200 Более 200	300-400 400-600	непрерывно 20-40	600-800 800-1200	Непрерывно 20-80	20-40 20-40
3	3.1. Средние и мелкие вытянутые россыпи, выдержанные и невыдержанные по ширине и мощности, с неравномерным распределением металла	Линии скважин*, шурфов, ориентированных поперек вытянутости продуктивного пласта	Менее 50	—	—	100-200**	5-10	—
			50-100	—	—	100-200	10	—
			Более 100	—	—	200	20	—
		Линии траншей, шахт или шурфов с рассечками	Менее 100 Более 100	— —	— —	100-200 400	Непрерывно 20	10-20 20-40

Группа сложности	Характеристика и морфологические типы россыпей	Рациональный способ разведки	Ширина россыпи, м (площадь, тыс. м <sup>2</sup> )	Расстояния, м				Длина секций опробования в траншеях, м
				B		C <sub>I</sub>		
				между линиями	между выработками	между линиями	между выработками	
	3.2. Средние и мелкие россыпи изометричной и неправильной форм с неравномерным распределением металла, чередованием бедных и обогащенных участков	Скважины, расположенные по сети (квадратной, прямоугольной, ромбической)	Площадь, тыс. м <sup>2</sup> Менее 10 10-20 20-35 35-60 Более 60	— — — — —	— — — — —	20 30 40 50 60	10 - 20 20 - 30 30 - 40 40 - 50 50 - 60	— — — — —
4	Мелкие, реже средние вытянутые россыпи весьма сложного строения, невыдержанные с крайне неравномерным распределением металла	Линии траншей, шахт, шурфов с рассечками	Ширина, м Менее 50 Более 50	— —	— —	100-200 200-400	непрерывно непрерывно	10 10 - 20

\*При разведке россыпей с участками сложного строения для получения необходимого объема групповой пробы целесообразно бурить сдвоенные (строенные) линии скважин, пройденных параллельно через 5-10 м, в которых скважины располагаются в шахматном порядке.

\*\* Расстояние между пересечениями из сдвоенных (строенных) линий обычно 200 м.

При разведке и эксплуатационной разведке россыпей большое значение приобретает выявление *уровенной неоднородности мор-*

фологически обособленных участков россыпи. Элементами неоднородности являются относительно богатые гнезда металла, чередующиеся с относительно бедными и пустыми участками (рис. 32). Размеры этих элементов нередко соизмеримы с расстояниями между пробами, а форма их может быть неправильная, удлинненная, овальная. Фрагменты элементов неоднородности уровня строения россыпей выявляются еще на стадии разведки, но наиболее полно при эксплуатационном опробовании. Оценивая изменчивость распределения золота по результатам разведки, исследователи отмечают значительно большую изменчивость по ширине россыпи, нежели по ее длине. Это обстоятельство явилось причиной укоренившегося понятия о *струйчатости россыпей* как характерной формы строения. Однако это лишь наблюдаемая закономерность. Представления об изменчивости существенно изменяются при обобщении данных эксплуатационного опробования [16].

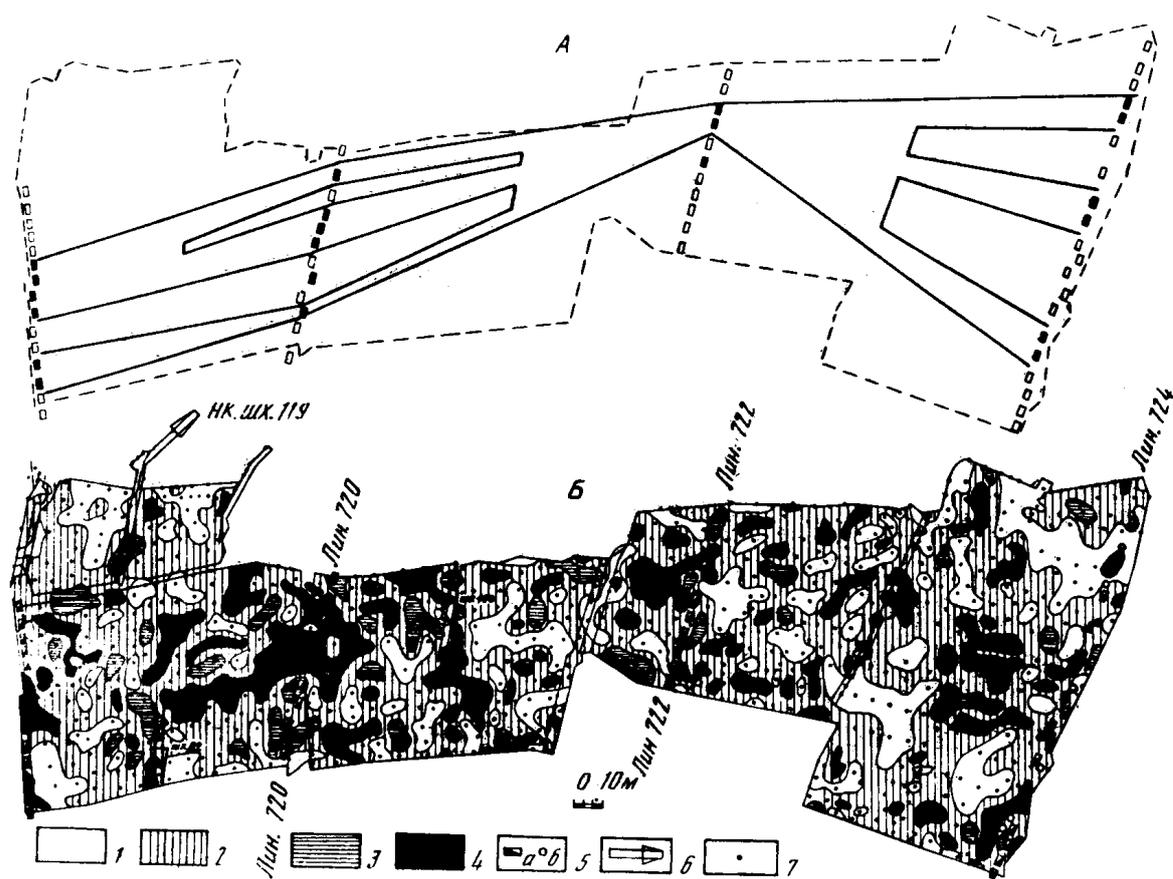


Рис. 32. Представление о структуре и морфологии россыпи по данным разведки (А) и эксплуатационной разведки (Б):

- 1-4 – различные концентрации металла в гнездах россыпи;
- 5 – разведочные выработки: а – шурф, б – скважина;
- 6 – ствол эксплуатационной шахты; 7 – точки эксплуатационного опробования

Наибольшее применение при разведке россыпей золота и платиноидов получило механическое ударно-канатное бурение и колонковое. Технология проходки ударно-канатных скважин (последовательные процессы долочения породы, обсадки скважин трубами, желонения разрушенной породы) должна соответствовать особенностям геологического строения россыпи, зерновому составу металла, мерзлотно-гидрогеологическому состоянию пород. Недостаточный учет этих особенностей может привести к искусственному «растягиванию» продуктивного пласта, обеднению (или обогащению) его металла за счет просадки. Расчет содержания полезного компонента по проходкам обычно производится исходя из фактического объема выжелоненной породы.

При разведке россыпей колонковыми скважинами должен быть получен максимальный выход керна. Объем пробы определяется по фактическому диаметру керна. Достоверность определения линейного выхода керна по продуктивным отложениям систематически проверяется путем его сопоставления с расчетными данными или объемным методом установления выхода керна (с учетом результатов контрольных замеров глубин скважин).

Горные выработки (траншеи, шурфы) используются при разведке россыпей с весьма неравномерным распределением полезного компонента, а также для заверки результатов буровых работ.

Все расположенные на месторождении разведочные и эксплуатационные выработки должны быть задокументированы. *Геологическая документация* составляется по типовым формам. Полнота и качество документации, соответствие ее геологическим особенностям месторождения должны систематически контролироваться.

Для изучения качества полезного ископаемого, оконтуривания продуктивного пласта (в разрезе, на плане) и подсчета запасов вся толща рыхлых отложений и верхняя часть плотика подлежит *опробованию*. Выбор *методов* опробования россыпей (геологический, геофизический) и *способов* (керновый, бороздовый, валовый) производится, исходя из вида полезного ископаемого, особенностей геологического строения месторождения, применяемых технических средств разведки. Объем отбираемых проб зависит от содержания полезного компонента в россыпи, крупности зерен минералов, характера их распределения. В отдельных случаях объем частных проб может достигать сотен м<sup>3</sup>. Длина интервалов опробования по продуктивному пласту зависит от мощности отложений, вида

полезного ископаемого, предполагаемого способа разработки. Для россыпей золота и платины это 0,2-0,4 м, для олова, вольфрама и редких земель – 0,5-1,0 м, для алмазов, титана, циркония, янтаря – 1,0-2,0 м.

При разведке россыпей золота, платины, ювелирных камней, олова, вольфрама, титана, редких земель на обработку отправляется весь материал с опробуемого интервала. На титано-циркониевых россыпях в пробу может отбираться половина или четверть полученного керна (часть выжелоненной породы). При разведке россыпей алмазов кустами скважин на обработку направляется весь материал опробуемых интервалов. То же происходит при опробовании шурфов на россыпях золота, алмазов, ювелирных камней.

*Достоверность принятого способа опробования* должна быть подтверждена отбором более представительных (обычно крупно-объемных) проб. На россыпях золота, платины, редких металлов, разведанных скважинами малого диаметра (менее 300 мм), заверочные работы выполняются путем проходки контрольных шурфов, скважин большого диаметра (500 мм и более), траншей, шахт и шурфов с рассечками. Цель контрольных работ заключается в установлении достоверности результатов выполненной разведки (по данным проходки скважин), наличия или отсутствия систематических ошибок в опробовании россыпи скважинами. При необходимости обосновывается величина поправочного коэффициента к запасам полезного компонента.

Контролю подлежит 10 % скважин, данные по которым использованы при подсчете запасов. При этом должно быть пройдено не менее 20 контрольных выработок, расположенных в нескольких разведочных линиях. Они должны характеризовать как обогащенные, так и бедные участки.

Наиболее эффективный способ контроля – проходка траншей, шурфо-скважин или подземных горных выработок (для глубокозалегающих россыпей). На россыпях ювелирно-поделочных камней и алмазов для контроля проходятся разведочные карьеры, служащие также для отбора технологических проб.

*Обработка проб* с целью получения концентратов (шлихов) производится на обогатительных установках. Тщательность промывки проб и полнота извлечения полезных компонентов контролируются путем перечистки на установках, обеспечивающих наиболее полное улавливание ценных минералов (концентрацион-

ные столы, отсадочные машины, центробежные и винтовые сепараторы). В россыпных провинциях, характеризующихся значительным количеством мелкого и тонкого золота, обработку разведочных проб рекомендуется проводить на современном оборудовании, позволяющем эффективно извлекать частицы размером менее 0,1 мм (концентраторы «Knelson» или другие отечественные приборы). При этом доводку проб (отдувку) необходимо дополнить любым количественным анализом хвостов отдувки.

Вещественный состав продуктивных отложений необходимо изучить с полнотой, обеспечивающей оценку промышленного значения основных и всех попутных компонентов. Содержание их в продуктивном пласте устанавливается на основании анализов проб, выполненных с использованием минералогических, химических, спектральных, ядерно-физических и иных методов. Необходимо установить возможность и экономическую целесообразность извлечения попутных минералов в самостоятельные концентраты: дистен-силлиманитовый, ставролитовый, глауконитовый, гранатовый (на титано-циркониевых россыпях), вольфрамовый (на оловянных) и др.

По каждому продуктивному пласту россыпи должно быть установлено: общее количество полезного компонента; соотношение гравитационно извлекаемого полезного компонента (свободных минералов) и находящихся в сростках с другими минералами; зерновой состав полезных минералов, их распределение по классам крупности; форма выделения полезных минералов, степень их окатанности, состояние поверхности и т. д.

Групповые пробы «шлихового золота» анализируются на чистое золота, серебро, лигатурные примеси; «шлиховая платина» – на химически чистую платину, платиноиды (Pd, Ro, Rh, Os, Ir), золото.

*Техническое опробование* проводится с целью установления зернового состава пород рыхлой толщи, объемной массы, коэффициентов разрыхления для разных литологических разновидностей, а также промывистости, валунистости, льдистости.

*Технологическое опробование песков* предусматривает выявление ряда признаков, определяющих технологию их гравитационного обогащения. Полученный черновой концентрат поступает на установки, где производится его очистка с помощью гравитационных аппаратов, магнитной и электростатической сепарации, флота-

ции, рентгенолюминесцентных и физико-химических методов. Наибольшее значение имеют следующие признаки обогатимости песков: зерновой состав; характеристика содержащихся в песках полезных минералов (крупность, форма нахождения, состояние поверхности, сростки с другими минералами); нахождение в россыпи двух или более полезных минералов, которые можно извлекать в самостоятельные концентраты; степень глинистости пород; состав шлиховых концентратов, требующих очистки.

Важным обстоятельством является и то, что разведка и обработка большинства россыпных месторождений золота производилась в то время, когда отсутствовали эффективные способы извлечения мелкого и тонкого металла. На некоторых россыпях их доля может составлять от 30 до 80 % запасов. В настоящее время внедряются новые технологии обогащения песков в центробежных полях (в том числе с использованием концентратора «Knelson»), что позволяет существенно увеличить извлечение золота для разных классов крупности:  $-0,25+0,1$  мм – 87,92 %,  $-0,1+0,05$  мм – 84,87 %,  $-0,05$  мм – 69-74 %.

Минералого-технологическими и малыми технологическими пробами, отобранными по определенной сети, должны быть охарактеризованы все природные типы песков на месторождении. На этой основе проводится геолого-технологическая типизация, составляются *геолого-технологические карты, планы, разрезы*. Определяются параметры обогащения: выход концентрата, извлечение ценных минералов; для попутных компонентов – формы нахождения, баланс распределения в песках, продуктах обогащения. Определяется целесообразность использования хвостов обогащения в качестве строительных материалов, стекольного или формовочного производства (гравия, кварцевых песков, глин).

*Гидрогеологическими исследованиями* должны быть выявлены и изучены все поверхностные водотоки, водоносные горизонты подземных вод, которые могут участвовать в обводнении карьера, дренажного полигона, подземных эксплуатационных горных выработок.

В результате изучения *инженерно-геологических, геокриологических и горно-геологических* условий должны быть установлены физико-механические свойства всей толщи, изучен литологический и минеральный состав рыхлых отложений и пород плотика, установлена глубина промерзания, контуры и глубины распространения таликов и т. д.

*Экологическими исследованиями* должны быть установлены фоновые параметры состояния окружающей среды (уровень радиации, качество вод и воздуха, характеристика почвенного воздуха, растительного и животного мира), определены предполагаемые виды воздействия (химического, физического) на окружающую среду (запыление территорий, загрязнение вод), объемы изъятия для нужд производства природных ресурсов, оценена интенсивность воздействия источников загрязнения, определены границы зон их влияния. В районах новых месторождений следует указать местоположение площадей с отсутствием полезных ископаемых, где могут быть размещены объекты производственного и иного строительства, отвалы пустых пород.

Запасы подсчитывают в пределах подсчетных блоков. Для каждого блока они не должны превышать годовую производительность будущего горного предприятия. Запасы песков (горной массы) выражаются в единицах объема (тысячах м<sup>3</sup>), а запасы полезных компонентов – в единицах массы (тоннах, килограммах или каратах). В качестве полезных компонентов принимаются химически чистые элементы (Au, Pt, Sn), оксиды (WO<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и т. д.), а в необходимых случаях – минералы (циркон, ильменит, рутил). По титановым россыпям концентрации ильменита, рутила выражаются в кг/м<sup>3</sup>, а запасы каждого из них подсчитываются отдельно. После этого запасы TiO<sub>2</sub> суммируются, и вычисляется среднее содержание диоксида титана по месторождению в целом.

При подсчете запасов должны быть выявлены выработки с аномально высоким вертикальным запасом полезных компонентов («ураганные» сечения); проанализировано их влияние на величину среднего содержания в подсчетных блоках и, при необходимости, ограничено их влияние. Продуктивные залежи с аномально высоким содержанием и увеличенной мощностью следует выделять в самостоятельные подсчетные блоки.

На разрабатываемых месторождениях выделяются запасы вскрытые, подготовленные и готовые к выемке, а также находящиеся в охранных целиках. Они подсчитываются отдельно с подразделением по категориям в соответствии со степенью их изученности.

Для контроля за полнотой отработки на разрабатываемых месторождениях производится сопоставление данных разведки и эксплуатации. На месторождениях, по которым утверждены запасы

не подтверждаются, возможно введение поправочных коэффициентов в ранее утвержденные параметры или запасы.

Разведочные россыпи месторождения по степени разведанности должны удовлетворять следующим требованиям [21]:

- обеспечена возможность квалификации запасов по категориям, соответствующим сложности геологического строения месторождения;

- вещественный состав, технологические свойства промышленных типов и сортов полезного ископаемого изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, достаточных для проектирования рациональной технологии переработки;

- запасы других совместно залегающих полезных ископаемых (включая породы вскрыши) изучены и оценены в степени, достаточной для определения их количества и возможных направлений использования;

- гидрогеологические, инженерно-геологические и другие природные условия изучены с детальностью, обеспечивающей необходимые данные для составления проекта разработки месторождения;

- достоверность данных о геологическом строении, условиях залегания и морфологии продуктивных пластов, качестве и количестве запасов подтверждена на представительных участках детализации;

- рассмотрено возможное влияние разработки месторождения на окружающую среду, даны рекомендации по снижению прогнозируемого уровня отрицательных последствий;

- подсчетные параметры кондиций установлены на основании технико-экономических расчетов, позволяющих определить промышленную значимость месторождения.

Рациональное соотношение запасов различных категорий определяется в каждом конкретном случае недропользователем. Решающими при этом являются: анализ геолого-геоморфологических факторов россыпеобразования, степень риска капитальных вложений, а также опыт разведки и разработки россыпей аналогичного типа.

## 2.6. Техногенные месторождения

### 2.6.1. Понятие о техногенных месторождениях

*Техногенные месторождения* – это скопление минеральных веществ, образовавшихся в результате складирования отходов, добычи и переработки полезного ископаемого, а именно: некондиционные руды, вскрышные и вмещающие породы, продукты обогащения (хвосты, шламы), металлургического (шлаки, золы, кехи) и других производств, качество и количество которых позволяют осуществить их добычу и переработку на рациональной экономической основе [17]. Статус техногенных месторождений эти объекты приобретают после разведки, когда будет доказано, что изучаемые *техногенные образования* могут использоваться как минеральное сырье при наличии разработанной технологической схемы переработки, позволяющей извлечь из них полезные компоненты, в том числе *безрудные отходы*, которые при соответствии их качественным показателям промышленности могут быть задействованы для производства строительных материалов, рекультивации нарушенных земель.

Техногенные образования обусловили появление целого ряда вопросов, связанных с исследованием этих объектов и их переработкой. Вовлечение техногенных месторождений в промышленное освоение способствует решению многих проблем, связанных с экологической ситуацией в промышленных регионах: ликвидация источников загрязнения воздушного пространства, водотоков и водоемов, подземных вод и почв; введение в оборот новых земель в районах добычи и переработки минерального сырья.

Наиболее привлекательными для изучения являются техногенно-минеральные образования, формирующиеся в результате работы *горно-металлургических комплексов*. Сказанное определяется их значительными объемами и широким спектром накапливаемых в отвалах ценных компонентов (цветных, редких и благородных металлов). Наибольшие объемы техногенно-минеральных образований характерны для горнодобывающей отрасли. За 300 лет ее функционирования в России накопилось, согласно опубликованным данным, не менее 100 млрд т горнопромышленных отходов, в том числе около 40 млрд т пригодных для производства строительных материалов.

Формирование техногенно-минеральных образований происходит как за счет материала дезинтегрированных горных пород, так и продуктов производственной деятельности. Эти процессы объединены в понятие *литотехногенез*, отнесенный к экзогенным геологическим процессам. Литотехногенез включает в себя ряд этапов.

Первый из них – процесс отделения горных пород от массива, их дробление, классификация и транспортировка к местам складирования; второй этап – формирование самого тела техногенных образований в виде отвалов, терриконов, шламохранилищ; третий этап – физико-химические изменения образовавшегося минерального сырья. К ним могут быть отнесены процессы окисления техногенных накоплений с формированием в отдельных случаях зоны вторичного обогащения (литорудогенез, по В. А. Наумову), возгорание терриконов при окислении сульфидов с образованием «горельников», окисление сульфидов в шламохранилищах и т. д.

Состав и строение техногенных месторождений определяются геолого-промышленным типом эксплуатируемого месторождения, способом отработки, принятыми технологическими схемами переработки минерального сырья, условиями его складирования, а также длительностью хранения отвалов. Из-за совместного накопления различных по составу и физико-механическим свойствам пород, а также благодаря изменению во времени качества поступающего материала, гравитационной дифференциации и сегрегации складированных отходов, первоначальное качество руд существенно меняется.

Важнейшей характеристикой, определяющей качественные показатели горнопромышленных отходов, является содержание полезных компонентов в минеральном сырье. Обычно при разработке месторождения горняки стремятся получать наиболее богатые концентраты за счет экстенсивной отработки объекта. Это, в свою очередь, порождает возрастающие потери в отходах производства.

На большинстве уральских месторождений на богатые руды приходится порядка 5-6 % от общего количества сырья и до 60 % на бедные руды, требующие усложнения технологии извлечения полезных компонентов [41]. Обычной является селективная отработка месторождения. В этом случае при добыче извлекается в среднем не более 40 % от всей руды месторождения. При открытой добыче потери отдельных технологических разновидностей руды чаще всего оцениваются в 10-12 %, при подземной возрастают до

25 %. На стадии обогащения потери колеблются в интервале 15-40 % (в зависимости от минеральной формы нахождения металла), а при металлургическом переделе реальные потери достигают 10-20 %. Таким образом, на всех стадиях получения и обработки сырья возникают техногенные отходы. Изложенное позволяет уверенно утверждать, что техногенные минеральные ресурсы на современном этапе представляют собой один из резервов обеспечения горнодобывающей промышленности сырьем; их использование является важной частью государственной политики ресурсосбережения и охраны окружающей среды.

### ***2.6.2. Сведения о минерально-сырьевой базе техногенных образований Свердловской области***

На территории Свердловской области объем горнопромышленных отходов составляют вскрышные и вмещающие породы 64,4 млн т (45 %) и отходы обогащения – 60,8 млн т (42,4 %), т. е. в сумме 87 % [41]. Значимую роль в общем объеме составляют золошлаковые отходы – 6,2 млн т (4,3 %) и различные виды металлургических шлаков – 2,8 млн т (1,9 %). Все эти отходы принадлежат разным классам опасности: 94 % их них – токсичные, остальные – различного класса токсичности. Различными типами отвалов забалансовых руд, хвостошламохранилищ и бытовых отходов на территории области занято более 16 тыс. га. По состоянию на 01.01.2000 г. на территории области находилось 66 предприятий, создавших 188 техногенно-минеральных объектов различных типов с объемом накопленных отходов в каждом из них свыше 1000 т при общем объеме техногенно-минеральных отходов более 8,5 млрд т.

Среди учтенных техногенно-минеральных скоплений преобладают объекты с запасами отходов до 5 млн т (107 объектов). На 59 объектах сосредоточено отходов от 5 до 50 млн т. Только на 22 объектах запасы накопленных техногенных отходов составляют свыше 50 млн т на каждом из них (Гороблагодатское РУ, Высокогорский и Качкарский ГОКи, ОАО «Ураласбест», Первоуральское РУ).

Полученные данные позволяют утверждать, что техногенно-минеральные образования (ТМО) представляют неотъемлемую часть минерально-сырьевой базы Уральского региона. На их основе могут быть построены объекты на базе новых технологий по их переработке. ТМО должны являться объектами специального изуче-

ния не только в силу потребительских свойств, но и из-за необходимости их ликвидации как мощных источников загрязнения окружающей среды. Наиболее важными для первоочередного освоения являются объекты, расположенные в пределах (или вблизи) городских территорий. Они заслуживают глубокого изучения и постановки ревизионно-оценочных работ с задачей разработки технико-экономических соображений (ТЭС) о целесообразности промышленного освоения ТМО с учетом экологических последствий их разработки.

### ***2.6.3. Стадийность изучения техногенных месторождений***

Выше было отмечено, что техногенные минеральные объекты являются объектами специального изучения. В отличие от природных месторождений при изучении ТМО отсутствует необходимость проведения поисковых работ, так как места их нахождения известны. При этом остается не оцененной степень влияния техногенных образований на окружающую среду, количественная оценка наносимого ими ущерба [31]. Также условием освоения техногенных месторождений является обоснование эффективных технологических схем их переработки.

При изучении техногенных объектов рекомендуются следующие этапы работ [17]:

- ревизионно-оценочные работы;
- разведка техногенного месторождения с технико-экономическим обоснованием (ТЭО) эколого-экономического эффекта его освоения.

#### *Ревизионно-оценочные работы*

Основной целью этих работ является выбор потенциальных объектов для промышленного освоения, на которых следует поставить разведочные работы. Предусматривается два этапа проведения ревизионно-оценочных работ (РОР) – камеральный и полевой.

В *камеральный этап РОР* производится сбор и обобщение материалов по техногенным объектам (геологических, маркшейдерских, технологических). Анализируется информация паспортов, отчетов, архивных документов, журналов обогатительных фабрик; подлежат рассмотрению действующие технологические схемы и возможности разработки новых схем обогащения; изучается геологическая документация прошлых лет, состав хвостов и руд в отвалах

разных периодов. На этой основе составляются планы и разрезы, распределение полезных компонентов с учетом периодов отработки первичного месторождения. Одним из основных используемых при этом документов является кадастр техногенных образований. На основе собранных данных о составе и количестве отходов, содержании различных компонентов (полезных, технологически вредных, экологически опасных) прогнозируется качество продукции для предполагаемой технологической схемы переработки сырья.

В *полевой этап* РОР осуществляется уточнение имеющейся информации о техногенном объекте. Дается предварительная оценка пригодности и экономической целесообразности использования техногенного минерального сырья для извлечения металлов или других компонентов, производства стройматериалов, получения материала для закладки выработанного пространства в горных выработках.

В состав полевых РОР входят: а) маршрутное обследование отвалов и хвостохранилищ с проходкой и опробованием закопашек по редкой сети; б) проходка единичных разведочных выработок (шурфов, скважин на отвалах). Выполняется их геологическая документация, технологическое опробование для определения содержаний полезных компонентов, степени измельчения сырья и его окисленности в хвостах разных периодов.

Из выработок отбирают малые технологические пробы для лабораторных исследований. На их основе апробируют выбранные схемы обогащения, изучают обогатимость материала, складированного в разные периоды, возможность получения коллективного и селективного концентратов. Делается попытка установления закономерностей распределения минерального сырья по грансоставу, выделяются его технологические сорта.

В процессе РОР уточняются запасы техногенного сырья, оцениваются инженерно-геологические условия объекта исследования.

При необходимости в этот период проводятся специализированные экологические исследования по оценке масштаба и характера воздействия техногенного объекта на окружающую среду. Оценивается наносимый суммарный экономический ущерб. Загрязнение подземных вод изучается с помощью опробования водоносных горизонтов. Для этого используются расположенные в районе техногенного объекта эксплуатационные водозаборы.

На основе собранных материалов о составе, качестве, прогнозной оценке количества минерального сырья, технологической

изученности и характеру воздействия на окружающую среду составляют технико-экономические соображения (ТЭС) о перспективах освоения объекта; решается вопрос о целесообразности постановки разведочных работ. При этом оценивается не только экономический эффект (прибыль) от переработки месторождения, но и показатель суммарного эколого-экономического эффекта его промышленного освоения (как сумма величины предотвращенного экологического ущерба, нанесенного объектом окружающей среде, в стоимостном выражении).

#### *Разведка техногенных месторождений*

Проводится на техногенных объектах (отвалах, хвостохранилищах), вероятное промышленное значение которых установлено РОР. Цель разведки – геолого-экономическая оценка объекта и получение исходных данных для проектирования нового предприятия по добыче и переработке техногенного сырья или организации повторного использования горнопромышленных отходов на действующем предприятии.

В результате разведочных работ должны быть получены необходимые материалы о закономерностях пространственного распределения полезных компонентов, вещественном составе сырья, проведено минералого-технологическое картирование (когда учтены и охарактеризованы технологические сорта руд, разновидности хвостов), установлены закономерности изменения грансостава в плане и разрезе, выделены зоны различной концентрации полезных компонентов. Кроме того, необходимо определить размеры участков (залежей), представляющих промышленный интерес; подсчитать запасы отходов и заключенных в них полезных компонентов; изучить технологические свойства минерального сырья с учетом уровня его окисления и грансостава; установить эффективную схему переработки техногенного сырья (предусматривающую его комплексное освоение с полной утилизацией). Оцениваются горно-технические и гидрогеологические условия эксплуатации месторождения, влияние разработки на окружающую среду.

По результатам разведки проводится технико-экономическая оценка целесообразности промышленной утилизации отходов, в рамках которой на основе полученных данных предлагаются необходимые хозяйственные решения: реконструкция действующего предприятия, строительство нового, доработка технологий использования и т. д.

*Группировка техногенных месторождений для целей разведки.* Техногенные месторождения предложено разделять на две группы, различающиеся по морфологии, внутреннему строению и гранулярному составу.

*Первая группа* – в нее входят: а) отвалы, сложенные отходами добычи полезного ископаемого (вскрышные и вмещающие породы, спецотвалы забалансовых руд; б) отходы энергетического передела (золотоотвалы) и металлургического (шлаки, кеки). Морфологически представляют собой пластообразные и террасированные, конические (терриконики) и гребневидные образования. Сложены разнотернистым и в различной степени слежавшимся кусковым материалом (размеры кусков от одного миллиметра до нескольких десятков сантиметров). Откосы отвалов имеют различную устойчивость. Отмеченное определяет сложность геологоразведочных работ на месторождениях этого типа и особенно на отвалах конической и гребневидной форм с крутыми уступами и бортами, что порой делает невозможным применение при разведке буровых скважин. Более простые условия для проведения разведки на месторождениях пластообразной и террасированной формы.

*Вторая группа* – в нее входят хвостохранилища, сложенные отходами обогащения, а также шламоохранилища. Они имеют плоскую поверхность; нижняя граница определяется формой рельефа местности; материал мелкозернистый и тонкодисперсный. Эти отходы благоприятны для проведения буровых работ и колонкового бурения, но могут быть в различной степени обводнены, что является осложняющим фактором при их разработке.

*Факторы, определяющие методiku разведки техногенных месторождений.* При разведке следует установить возможность максимально полной утилизации всего объема отходов. При этом необходимо учитывать:

- характер объекта (отвал, хвостохранилище и др.), вид техногенного сырья (вскрышные, вмещающие породы, забалансовые руды, хвосты, шлаки, золы и т. д.);
- первичный промышленный тип месторождения, являющийся источником конкретного техногенного объекта;
- время возникновения объекта, сроки его существования;
- технологическая схема переработки минерального сырья, показатели извлечения полезного компонента при переработке руд;
- анализ условий формирования техногенных залежей;

– сложность техногенного месторождения для разведки: размер и форма объекта, пространственная изменчивость качественных свойств и гранулярного состава;

– способ разработки техногенного месторождения: селективный, сплошной.

Также необходимо принимать во внимание: а) в результате процессов гравитационной дифференциации в лежалых хвостах со временем происходит образование обогащенных металлами техногенных залежей в нижних частях складированного отвала под воздействием окислительных процессов и сегрегации материала (подобно зонам вторичного обогащения); б) на хвостохранилищах необходимо учитывать положение пульповода, что влияет на пространственное размещение наиболее богатых участков в плане; в) следует учитывать соотношение жидкой и твердой фаз пульпы, его окислительно-восстановительные свойства, рельеф дна хвостохранилища; г) вещественный состав техногенных залежей следует изучать с полнотой, обеспечивающей возможность оценки полезных и вредных компонентов на основе анализов проб (минералогических, спектральных, ядерно-физических, гранулометрических, химических); д) необходимо установить принципиальную возможность и экономическую целесообразность извлечения попутных полезных компонентов; е) следует определить возможность применения методов предварительного обогащения (радиометрической сортировки, сепарации и т. д.).

*Обоснование параметров разведочной сети.* Форма и параметры разведочной сети должны учитывать анизотропию свойств техногенного сырья, а при гидродобыче – возможность использования разведочных скважин в качестве эксплуатационных. В начальный период разведки техногенных месторождений параметры разведочной сети могут устанавливаться по аналогии или рассчитываться на основе заданных или экономически целесообразных погрешностей средних подсчетных параметров. При отсутствии данных об анизотропии свойств залежи в начальный период ориентировочные расстояния между разведочными выработками могут быть приняты в соответствии с табл. 12 [17]. В дальнейшем эти данные уточняются на основе достижения оптимальных погрешностей оконтуривания выделенных типов и сортов руд.

*Технические средства разведки.* Основным способом разведки техногенных образований является бурение скважин и проходка

**Ориентировочные параметры разведочной сети**  
(Методическое руководство....., 1994)

Характер залежей и месторождений	Тип разведочных выработок	Разведочная сеть, м	
		Запасы	
		разведанные ( $C_1$ )	предварительно оцененные ( $C_2$ )
1. Отвалы простой формы, сухие хвостохранилища простой пластообразной формы, крупные, $V < 20 \%$	Вертикальные скважины, шурфы и каналы на поверхности	100×100-200	200×200-400
2. Отвалы, террасированные с частичной деформацией уступов и бортов; хвостохранилища влажные, залежи линзовидной формы, крупные и средние, $V = 20-40 \%$	Вертикальные скважины с установкой станков на настилы в хвостохранилище; шурфы и каналы на сухих участках поверхности	50-100×100	100-200×200
3. Отвалы преимущественно конической или гребневидной формы со значительной деформацией уступов и бортов; хвостохранилища обводненные средние и небольшие, $V > 40 \%$	Вертикальные (и горизонтальные) скважины с установкой на плавсредствах	50×50×100	100×100-200

горных выработок. При разведке отвалов (забалансовых руд, пустых пород, шлаков и т. д.) основными видами являются шурфы и скважины. При разведке новообразованных отвалов можно использовать закопушки глубиной до 1 м и мелкие шурфы по равномер-

ной сети. В дальнейшем задействуют глубокие шурфы, а на плоских отвалах – скважины. Бурение имеет ряд сложностей - необходимо крепление ствола скважины. Поэтому чаще применяется ударно-канатное, а также пневмоударное бурение, когда проходка производится с одновременной обсадкой трубами разного диаметра (100-600 мм и более). Применение вращательного (колонкового) бурения малоэффективно, так как при бурении слежавшегося разнокускового материала возможно заклинивание бурового снаряда. Канавы, копуши и мелкие шурфы для изучения верхних горизонтов отвалов проходят ковшем экскаватора.

Разведка хвостохранилищ осуществляется бурением шнековых скважин станком УКБ 12/25 с бензиновым двигателем. Диаметр шнеков 140-170 мм. Также широко применяются мотобуры. Если поверхность хвостохранилищ и шламоохранилищ покрыта водой, то работы по разведке и опробованию производят с деревянных настилов.

Опробование производится для оценки химического состава техногенного сырья, определения содержаний полезных компонентов, технологических и иных свойств, их пространственной изменчивости, подсчета запасов.

Способы рядового опробования техногенного сырья зависят от технических средств разведки и ядерно-физических свойств полезного ископаемого. Опробование производится общепринятой методикой для природных месторождений, но может содержать и специфические приемы. Так, при предварительной оценке новообразованных отвалов целесообразно использовать горстевой способ (когда пробы отбираются по квадратной сетке). При «кусковом» материале отвалы можно опробовать прерывистой бороздой или точечным способом. Надежность принятого способа может быть оценена отбором валовых проб и геофизическими методами.

Спецификой техногенных месторождений является крайне низкое содержание полезных компонентов. Поэтому по результатам геологического и геофизического опробования отвалов следует оценить возможности применения радиометрического и других методов предварительного обогащения. Для определения степени окисленности рудных компонентов и для выделения окисленных руд выполняется фазовый анализ.

*Минералогическое опробование* имеет особое значение в силу особенностей формирования и складирования техногенных отхо-

дов. При этом изучают мономинеральные пробы, лабораторные концентраты. Исследуется возможность переработки сырья геотехнологическими методами.

*Техническое опробование* проводится для изучения физико-механических свойств техногенных образований и является основным видом опробования для объектов нерудного сырья.

*Технологические исследования* должны установить принципиальную возможность промышленной переработки материала техногенного месторождения. На этой основе возможна разработка технических решений, обеспечивающих технико-экономические показатели переработки сырья за счет извлечения ценных компонентов. Исследуется возможность предварительного (радиометрического) обогащения горнорудной массы. Радиометрическое обогащение – это процесс механического разделения горной массы на продукты с различным содержанием полезных компонентов (или вредных примесей) на основе регистрации плотности потока наведенного излучения (рентгеновского, нейтронного,  $\gamma$ -излучения или электромагнитного), обусловленного величиной концентрации полезных компонентов. Условием применения радиометрического обогащения является достаточная контрастность минерального сырья.

Бактериальное и химическое выщелачивание (кучное, чановое) открывает дополнительные возможности эффективной и экономически рентабельной переработки месторождений.

*Рассмотрим примеры* разведки и технологического опробования ряда отвалов и хвостохранилищ Среднего и Южного Урала.

Разведка хвостохранилища обогатительной фабрики *Среднеуральского медеплавильного завода* выполнена ОАО «Уралцветметразведка» (Субботин И. А.). Бурение проводили станком АВБ-2М в зимний период самоходной установкой виброударным способом. Диаметр бурения 108 мм по квадратной сети (25×25 и 50×50) до глубины 20 м. Углубка в подстилающие породы составляла 0,5-2,0 м. Всего пробурено 137 скважин, выход керна составил 88 %. Опробование по определению содержания меди, цинка и серы проведено двухметровыми интервалами. Оценена вся продуктивная толща. Кроме этого, выполнено определение влажности, гранулометрического состава хвостов, объемной массы, фазового состава меди. По результатам разведки установлено, что повышенное содержание серы приурочено к придамбовой части хвостохранилища, что связано с крупной фракцией хвостов; повышенные содержания

меди и цинка сосредоточены в центральной и юго-западной частях и связаны с тонкой фракцией хвостов.

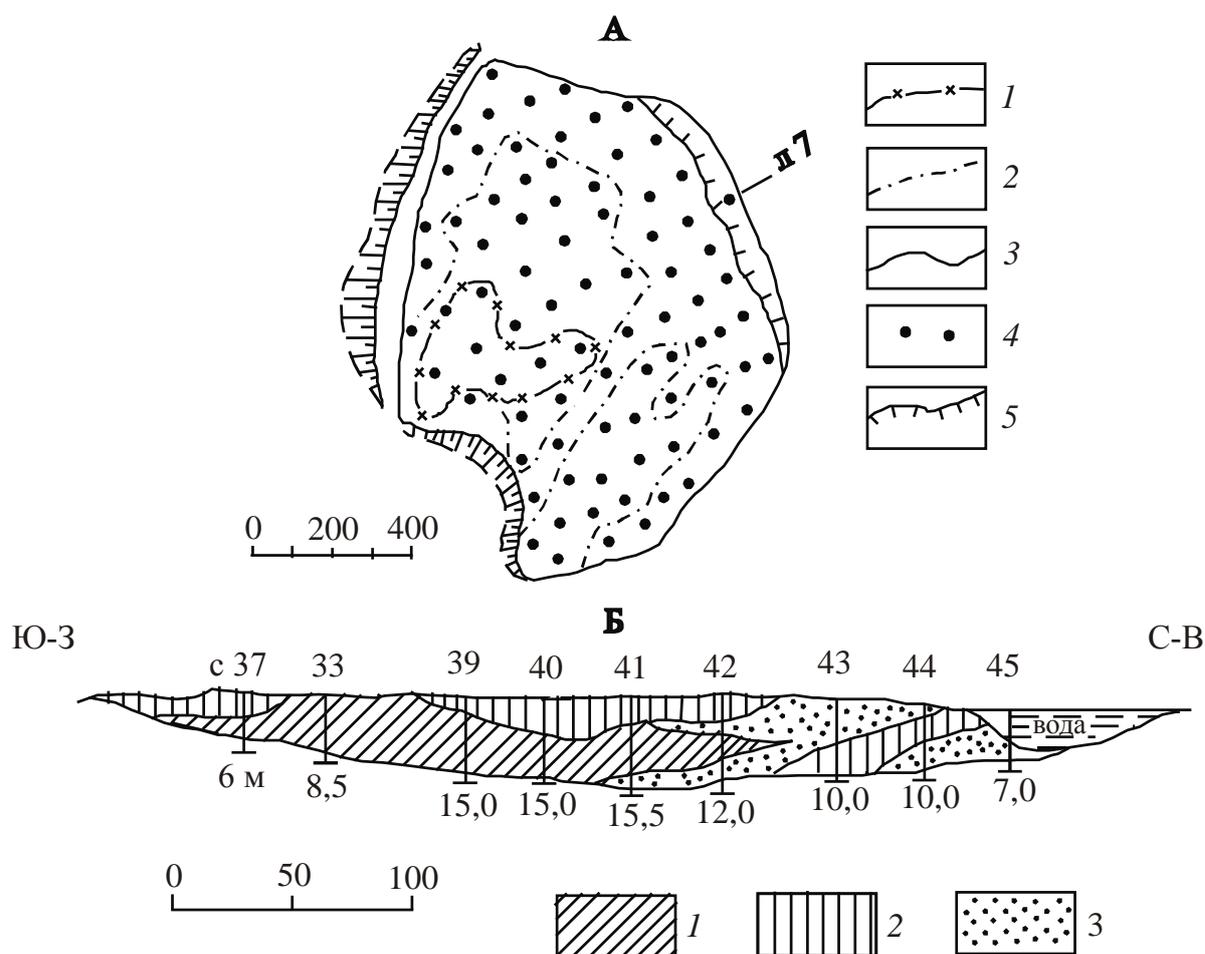


Рис. 33. План (А) и геологический разрез (Б) хвостохранилища Бурибаевской обогатительной фабрики, по (Галимов, 1990; Козин и др., 1994), с упрощениями:

- А – план: 1 – участок с высоким содержанием  $\text{Cu}$  ( $> 0,5\%$ ) и  $\text{S}$  ( $> 34\%$ );  
 2 – участок с высоким содержанием  $\text{Cu}$  ( $> 0,5\%$ )  
 и пониженным  $\text{S}$  ( $< 34\%$ ); 3 – участок с пониженным содержанием  $\text{Cu}$  ( $< 0,5\%$ )  
 и  $\text{S}$  ( $< 34\%$ ); 4 – буровые скважины; 5 – граница воды.
- Б – уровни содержаний: 1 –  $\text{Cu} > 0,5\%$ ,  $\text{S} > 34\%$ ; 2 –  $\text{Cu} > 0,5\%$ ,  $\text{S} < 34\%$ ;  
 3 –  $\text{Cu} < 0,5\%$ ,  $\text{S} < 34\%$

Разведка законсервированного хвостохранилища Бурибаевской обогатительной фабрики проводилась колонковым бурением станком АВБ-2М диаметром 112 мм по сети 50×50 (Галимов С. Я.). Всего пробурено около 90 скважин (рис. 33) при средней глубине 9,98 м с перебуром вмещающих пород от 0,5 до 3 м. Выход керна составил 84,5 %. Опробование на медь, цинк и серу выполнено по-

интервально через 2,0 м. Начальная масса пробы составила 6,4 кг, конечная – 0,4 кг. Помимо этого определены объемная масса, влажность, гранулометрический состав хвостов. Подсчет запасов по хвостохранилищу выполнен методом вертикальных сечений с подразделением по классам содержаний (сортам). Контрольный подсчет запасов сделан методом геологических блоков. Расхождение в запасах хвостов составило 1,9 %, меди – 0,6, цинка – 0,9, серы – 2,0. По данным разведки, установлено, что наиболее обогащенный медью и серой участок находится в юго-западной части вблизи места сброса пульпы.

Разведка песчано-гравийных эфельных отвалов *золото-платиноносной россыпи* «Новый лог» (Средний Урал) выполнена артелью «Белогорская» (1994 г.). Хвосты промывки располагаются на площади, превышающей 5 га. Разведка проводилась шурфами сечением 1,25 м<sup>2</sup> по квадратной сети 50×50 м. Выработки вскрыли весь разрез техногенных накоплений, обычно не превышающий по мощности 2 м. Минералогическое опробование песчано-гравийных отвалов установило, что их следует рассматривать как комплексное сырье с возможностью извлечения не только платины, золота, но также хромитового концентрата и кварцевого песка (для использования в качестве формовочного материала). Содержание хромшпинелидов в рыхлой толще колеблется от первых до 23 %, в среднем составляя около 10 %. При устойчиво высоком выходе шлиха (от нескольких до первых десятков кг/м<sup>3</sup>) при переработке эфелей реальным является получение самостоятельного хромитового концентрата. Выполненные исследования показали, что концентрат удовлетворяет требованиям ТУ 14-9-260-89 (марки 2 и 3) и пригоден для получения ферросплавов. Пространственное распределение хромшпинелидов в рыхлой толще определялось как механизмом, так и последовательностью формирования эфельного конуса. Наиболее высокие концентрации отмечены в «головке» конуса при отчетливо проявленном струйчатом распределении минералов по отношению к месту размещения промприбора. При количественной оценке изменчивости содержаний хромшпинелидов, полученных по разведочным выработкам, рассчитан коэффициент анизотропии как отношение радиусов геометрической автокорреляции для взаимно перпендикулярных разведочных профилей (Баранников и др., 2000). Он оказался равным 1,2. Это значение можно использовать в качестве критерия оптимизации параметров разведочной сети.

Отмеченное позволяет при оценке подобных объектов модифицировать «стандартную» квадратную сеть, преобразуя ее в прямоугольную или ромбическую, что ведет к сокращению затрат на разведку.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный в учебном пособии материал призван ознакомить студентов специализации «Геологическая съемка, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых» направления подготовки 130301 «Прикладная геология» с методическими подходами, используемыми в производственных организациях при выполнении работ применительно к отдельным стадиям геологоразведочного процесса. В качестве примеров рассмотрен ряд ведущих геолого-промышленных типов месторождений – железорудных, меднорудных, золоторудных, бокситоносных, россыпных и техногенных. Методические приемы, используемые при изучении и оценке перечисленных геолого-промышленных типов месторождений, во многом тождественны. Однако каждый тип месторождений своеобразен, специфичен, на что и должно быть обращено внимание.

Изложение материала по каждому полезному ископаемому подчинено единой схеме, предусматривающей последовательное освещение ряда логически увязанных между собой вопросов, а именно: полезное ископаемое и его практическая значимость; требования, предъявляемые промышленностью к качеству минерального сырья; металлогенические эпохи накопления металлов; перечень ведущих геолого-промышленных типов; поисковые критерии и признаки, используемые при проведении прогнозно-поисковых и поисковых работ для отдельных геолого-промышленных типов; вопросы, подлежащие изучению при разведке месторождений. Примеры разведки отдельных типов месторождений в учебном пособии не разбираются. С этим материалом студентам рекомендуется ознакомиться в уже опубликованной учебной литературе.

При подготовке пособия по возможности учтены все известные автору методические разработки последних лет, в их числе «Методические рекомендации по применению классификации запасов...» для отдельных видов твердых полезных ископаемых (2007). Этот документ, регламентирующий требования ГКЗ к разведваемым месторождениям, в настоящее время изложен в элек-

тронном виде (на сайте ГКЗ). Отсутствие бумажных носителей информации существенно усложняет работу студентов при подготовке курсовых и дипломных проектов. С этой целью основные инструктивные требования ГКЗ при разведке МПИ получили отражение в настоящем учебном пособии.

Ознакомившись с содержанием учебного пособия, студент должен *иметь представление* о системе объектов геологического прогнозирования и поисков, систематике промышленных типов месторождений, группировке объектов по сложности геологического строения для целей разведки; студент должен *знать* и *уметь* обосновать ведущие критерии и признаки прогнозируемого типа оруденения, отразить информацию в виде предлагаемого прогнозно-поискового комплекса, обосновать рациональную систему разведки для отдельного геолого-промышленного типа месторождения; предложить необходимый комплекс работ по опробованию и химико-аналитическим исследованиям; оценить ожидаемые прогнозные ресурсы минерального сырья; подсчитать запасы в оконтуренных блоках.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристов В. В., Роков А. Н.* Локальный прогноз и методика поисков основных промышленных типов месторождений твердых полезных ископаемых: учебное пособие. М.: Изд-во МГОУ, 1996. 419 с.
2. *Бабенко В. В., Коцуба А. П.* Прогнозирование условий размещения полезных ископаемых: научное издание. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2001. 385 с.
3. *Баранников А. Г.* Геология и разведка россыпных месторождений: учебное пособие. Свердловск: Изд-во СГИ, 1984. 80 с.
4. *Баранников А. Г.* Мезозойские золотоносные россыпи Урала // Отечественная геология. 2009. № 2. С. 22-33.
5. *Бирюков В. И., Куличихин С. Н., Трофимов Н. Н.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1979. 399 с.
6. *Волков В. Н.* Введение в разведку полезных ископаемых: учебное пособие. СПб.: Изд-во С.-Петербургского гос. ун-та, 2006. 136 с.
7. *Каждан А. Б.* Разведка месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1977. 327 с.
8. *Каждан А. Б.* Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Производство геологоразведочных работ: учебник для вузов. М.: Недра, 1985. 288 с.
9. *Классификация запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых:* Приказ МПР РФ № 278 от 11.12.06. М.: МПР, 2007.
10. *Контарь Е. С.* Палеотектонические обстановки образования колчеданных и свинцово-цинковых месторождений Урала // Руды и металлы. 2001. № 6. С. 36-44.
11. *Коробейников А. Ф.* Комплексные месторождения благородных и редких металлов: справочное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. 327 с.
12. *Коробейников А. Ф.* Прогнозирование рудоносных площадей и месторождений полезных ископаемых: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 204 с.
13. *Коробейников А. Ф.* Моделирование рудоносных площадей и месторождений: учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 485 с.

14. *Месторождения металлических полезных ископаемых: учебник* / В. В. Авдонин, В. Е. Бойцов, В. М. Григорьев и др. 2-е изд., испр. и доп. М.: Академ. проект, Трикста, 2005. 720 с.

15. *Методика разведки золоторудных месторождений* / В. Н. Иванов, В. П. Кувшинов, В. И. Батрак и др.; под ред. Г. П. Воларовича и В. В. Иванова. М.: ЦНИГРИ, 1991. 344 с.

16. *Методика разведки россыпей золота и платиноидов* / Ю. С. Будилин, Н. А. Вашко, В. А. Джобадзе и др.; под ред. И. Б. Флорова, В. И. Куторгина. М.: ЦНИГРИ, 1992. 285 с.

17. *Методическое руководство по изучению и эколого-экономической оценке техногенных месторождений* / ГКЗ Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ. М., 1999. 51 с.

18. *Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (железных руд): Приложение 23 к распоряжению МПР РФ от 05.06.2007. № 37-р.*

19. *Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (медных руд): Приложение 24 к распоряжению МПР РФ от 05.06.2007. № 37-р.*

20. *Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (алюминиевых руд): Приложение 21 к распоряжению МПР РФ от 05.06.2007. № 37-р.*

21. *Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (россыпных месторождений): Приложение 41 к распоряжению МПР РФ от 05.06.2007. № 37-р.*

22. *Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (золоторудных месторождений): Приложение 45 к распоряжению МПР России от 05.06.2007. № 37-р.*

23. *Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Вып. «Золото»* / Б. И. Беневольский, Е. В. Блинова, А. В. Бражник и др.; отв. ред. А. И. Кривцов. М.: ЦНИГРИ, 2002. 182 с.

24. *Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов алмазов, благородных и цветных металлов. Вып. «Медь»* /

А. И. Кривцов, И. Ф. Мигачев, А. Г. Волчков и др.; отв. ред. А. И. Кривцов. М.: ЦНИГРИ, 2002. 212 с.

25. *Милютин А. Г.* Геология и разведка месторождений полезных ископаемых: учебник. М.: Недра, 1989. 244 с.

26. *Минеральное сырье. Железо. Медь. Золото:* Справочники. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997-1998.

27. *Михайлов Б. М., Мошкин В. Н., Орлова М. П.* Аллювий // Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / под ред. Д. В. Рундквиста. Л.: Недра, 1978. С. 208-232.

28. *Новицкий Г. П.* Комплексирование геофизических методов разведки: учебное пособие. Л.: Недра, 1974. 256 с.

29. *Овчинников Л. Н.* Прогноз рудных месторождений. М.: Недра, 1992. 308 с.

30. *О золотоносности Субровского бокситоносного комплекса / А. Г. Баранников, И. В. Абакумов, А. Н. Угрюмов и др. // Известия УГГГА. Вып. 10. Сер.: Геология и геофизика. 2000. С. 116-119.*

31. *Оленин В. В., Ершов Л. Б., Белякова И. В.* Технико-экономическая оценка техногенных месторождений цветных металлов // Цветная металлургия. Сер.: Экономика цветной металлургии, обзорная информация. Вып. 2. М., 1990. С. 35-41.

32. *Петруха Л. М.* Разведка месторождений полезных ископаемых: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2003. 247 с.

33. *Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых / Е. О. Погребницкий и др. Л.: Недра, 1968. 460 с.*

34. *Поиски меднорудных месторождений / М. Б. Бородаевская, Р. Н. Володин, А. И. Кривцов и др. М.: Недра, 1985. 219 с.*

35. *Положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые).* М.: ВИЭМС МПР, 1999. 28 с.

36. *Принципы прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых / под ред. В. Т. Покалова. 2-е изд., переработ. и доп. М.: Недра, 1984. 437 с.*

37. *Россыпные месторождения золота Урала / В. С. Шуб, А. Г. Баранников, В. Н. Хрыпов и др. // Горный журнал. Уральское горное обозрение. 1994. № 2 (6). С. 27-50.*

38. *Сигов А. П.* Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. М.: Недра, 1969. 296 с.

39. *Справочник по поискам и разведке месторождений цветных металлов* / А. И. Кривцов и др. М.: Недра, 1985. 324 с.

40. *Справочник по рудам черных металлов для геологов* / В. М. Григорьев и др. М.: Недра, 1985. 287 с.

41. *Техногенные месторождения Среднего Урала и оценка их воздействия на окружающую среду* / С. И. Мормиль, В. Л. Сальников, Л. А. Амосов и др. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2002. 206 с.

42. *Шевелев В. В. Разведка и геолого-экономическая оценка месторождений твердых полезных ископаемых: учебное пособие* / под ред. Ф. А. Филонюка. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2004. 367 с.

Учебное издание

Александр Григорьевич Баранников

ПОИСКИ И РАЗВЕДКА  
ВЕДУЩИХ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ТИПОВ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Учебное пособие*

Редактор изд-ва *Л. В. Устьянцева*  
Компьютерная верстка *Н. Л. Кузиной*

Подписано в печать 01.08.2011 г. Формат 60 × 84 1/16.  
Бумага писчая. Печать на ризографе. Гарнитура Times New Roman.  
Печ. л. 11,5. Уч.-изд. л. 10,25. Тираж 250. Заказ № .

Издательство УГГУ  
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30  
Уральский государственный горный университет  
Отпечатано с оригинал-макета  
в лаборатории множительной техники