

**Разведка
сульфидных
месторождений
с использованием
скважинных
геофизических
и геохимических
методов**

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТОДИКИ И ТЕХНИКИ РАЗВЕДКИ (ВИТР)

550.8+550.4

РАЗВЕДКА
СУЛЬФИДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СКВАЖИННЫХ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
И ГЕОХИМИЧЕСКИХ
МЕТОДОВ

Методическое руководство

1330



Авторы: *Г. С. Гончаров, Р. Р. Зиверт, Л. В. Лебедкин, Б. Б. Лихарев, С. С. Мецераков, Т. Г. Рыбакова, Ю. С. Рысс, М. В. Семенов, А. С. Тясто, М. А. Черфас, Б. Б. Шатров.*

Разведка сульфидных месторождений с использованием скважинных геофизических и геохимических методов (методическое руководство). Л., «Недра», 1971, 164 с.

В руководстве рассматриваются приемы решения практических задач с помощью скважинных геофизических и геохимических методов в комплексе с геологическими и техническими при разведке некоторых типов сульфидных месторождений (полиметаллических, медноколчеданных и касситерит-сульфидных) пластообразной формы. Приводится обзор различных факторов, контролирующих использование скважинных геофизических методов, и примеры решения разведочных задач с их помощью. Предлагаемая в руководстве методика предварительной разведки основана на проходке скважин по разреженной, по сравнению с принятой, сети (сокращение скважин в 2—3 раза) и восполнении территории в результате этого информации с помощью скважинной геофизики. Она обеспечивает решение всех необходимых разведочных задач с полнотой и достоверностью, позволяющими производить подсчет запасов по категории С₁.

Рассматривается также возможность использовать скважинную геофизику на стадии детальной разведки. Особенно важна роль этих методов при построении геологических разрезов и увязке их между собой.

Руководство рассчитано на геологов и геофизиков, занимающихся разведкой сульфидных месторождений.

Таблиц 11, иллюстраций 72, библиография — 122 названия.

Под редакцией *Г. К. ВОЛОСЮКА* и *Н. И. САФРОНОВА*.

Введение

В последнее десятилетие рядом научно-исследовательских институтов Министерства геологии, в первую очередь ВИТР, совместно с производственными геологическими организациями создана техника и аппаратура и разработаны методы, позволяющие существенно повысить эффективность геологоразведочных работ.

Такие новые методы, как скважинная геофизика, ядерная геофизика, направленное и многозабойное бурение, внедряются сейчас в практику работ некоторых геологических управлений, но не получают должного распространения, хотя на их основе имеется возможность существенно усовершенствовать и удешевить разведку ряда месторождений полезных ископаемых. Одной из причин этого является отсутствие необходимых методических руководств по использованию новых методов поисков и разведки. На это дважды обратила внимание коллегия Министерства геологии СССР (в июне 1966 г. и ноябре 1968 г.) при рассмотрении состояния внедрения скважинной геофизики при поисках и разведке сульфидных месторождений. Решением коллегии ряду научно-исследовательских институтов Министерства геологии СССР (ВИТР, ЦНИГРИ, ВИМС) было поручено составление методических руководств по поискам и разведке некоторых рудных полезных ископаемых. В 1968 г. было издано составленное в ВИТР методическое руководство по глубинным поискам полиметаллических и золото-сульфидных руд на основе использования геофизических и геохимических методов (под редакцией Г. К. Волосюка и Н. И. Сафронова). Настоящее руководство посвящено вопросам разведки некоторых типов сульфидных месторождений с применением скважинных геофизических и геохимических методов, направленного и многозабойного бурения.

К числу скважинных геофизических и геохимических методов, разработанных на основе созданной в ВИТР и в некоторых других организациях аппаратуры и техники, относятся: радиоволновое просвечивание, скважинная индукционная электроразведка,

скважинные варианты вызванной поляризации, естественного электрического поля, электроразведка на постоянном и низкочастотном токе, изучение вторичных и первичных ореолов рассеяния и ряд других. Глубинность каждого из перечисленных скважинных методов определяется как минимум глубиной используемой скважины; средняя горизонтальная дальность действия большинства методов составляет 150—200 м от ствола скважины. Разработанные в ВИТР техника и приемы направленного и многозабойного бурения позволяют разредить сеть основных стволов скважин при сохранении необходимого количества пересечений.

В ряде научно-исследовательских институтов разработаны и разрабатываются ядерные методы определения содержания химических элементов (олова, свинца, меди и др.) непосредственно в стенках горных выработок и буровых скважин.

Комплексное использование перечисленных методов для решения конкретных разведочных задач положено в основу настоящего руководства. В нем рассматривается разведка только определенного типа сульфидных месторождений, хотя в принципе скважинные геофизические и геохимические методы могут с успехом использоваться на различных по морфологии и составу сульфидных месторождениях. Для первого опыта авторами были выбраны наиболее простые по морфологии и распределению полезных компонентов сульфидные месторождения. Кроме того, большинство проведенных опытно-методических и производственных работ по применению скважинных методов связано с месторождениями подобного типа.

Рекомендуемая методика разведки рассчитана в основном на полиметаллические, медноколчеданные и олово-сульфидные месторождения с плоскими, лентовидными, плитообразными и жиллообразными формами рудных тел.

В настоящее время еще нет аппаратуры и методов, позволяющих при решении основных разведочных задач обходиться без скважин и горных выработок. В то же время следует напомнить, что в настоящее время стоимость проходки 1 м скважин кернового алмазного бурения даже наиболее экономичного диаметра при средней глубине бурения (300—500 м) определяется в 20—25 руб. при производительности 500—600 м/станко-месяц. Стоимость проходки горизонтальных разведочных выработок составляет 100—150 руб. за 1 м при скорости проходки 50—60 м/месяц. Как показывает накопленный опыт работ по скважинной геофизике, стоимость проведения комплексных геолого-геофизических наблюдений в скважинах не превышает 15% от стоимости 1 м бурения с возможностью обследования сотни метров в рабочую смену. Поэтому совершенствовать методику разведки и повышать ее экономическую эффективность возможно только в направлении максимального сокращения горнобуровых работ за счет разрежения сети буровых скважин в расчете на 1 т руды, компенсируя это разрежение данными скважинной геофизики и геохимии и дополнительными пересечениями за счет направленных ответвлений многоза-

бойных скважин. Эти положения явились исходными в рекомендациях, изложенных в настоящем руководстве.

Как известно, основная задача разведки — это выявлять промышленные месторождения и получать необходимые и достаточные данные для проектирования горного предприятия и нормального ведения эксплуатационных работ. Для этой цели на этапе разведки с той или иной детальностью должны быть выяснены следующие вопросы.

1. Пространственное положение рудных тел, мощность, размеры по простиранию и падению, наличие разрывов, сплошность.

2. Характер распределения содержаний полезных компонентов, среднее их содержание по рудным телам и подсчетным блокам, промышленные сорта руд.

3. Гидрогеологические и горнотехнические особенности месторождения, технологические свойства полезного ископаемого.

Материалы по первым двум вопросам являются исходными для подсчета запасов месторождения, по третьему — для проектирования эксплуатационных работ на месторождении.

Разработанные в настоящее время скважинные геофизические и геохимические методы и средства ядерной геофизики в комплексе с направленным и многозабойным бурением способны оказать существенную помощь в решении первых двух вопросов. Третий вопрос в руководстве не рассматривается, поскольку никаких новых методов решения его пока нет.

Процесс разведки месторождений осуществляется целым рядом методов, операций и технических приемов, совокупность которых и составляет понятие «методика разведки». Сюда входит геологическое картирование (поверхностное и подземное), расположение и последовательность проходки выработок, отбор и обработка проб и многое другое.

Настоящее руководство не преследует цель систематически осветить все многообразные вопросы методики разведки. В нем подробно рассматриваются только те, в которые в настоящее время могут быть внесены существенные усовершенствования на основе вышеуказанных методов и технических приемов. В основном это задачи определения пространственного положения геологических контуров и рудных тел, размеров и строения последних, в известной степени вопросы качественной характеристики рудных тел. Методические вопросы, касающиеся разведки поверхности выхода месторождения, опробования и геологической документации выработок, обработки и анализа проб, гидрогеологических и горнотехнических параметров, технологических испытаний в руководстве специально не рассматриваются. По своей сути настоящее руководство по комплексным методам разведки глубокозалегающих месторождений является продолжением руководства по комплексным методам поисков, изданного ВИТР в 1968 г. Связующим звеном между руководствами служит глава III, где рассматривается решение задач поисково-разведочной стадии с помощью новых развивающихся методов.

При составлении руководства широко использованы материалы ВИТР, производственных геологических и геофизических организаций, главным образом Восточно-Казахстанского и Центрально-Казахстанского геологических управлений, Западно-Казахстанской геологоразведочной экспедиции, треста Ташкентгеология, Дальневосточного и Приморского геологических управлений, Управления геологии Киргизской ССР и других, поэтому авторство руководства выходит за рамки ВИТР. Многие содержащиеся в руководстве рекомендации уже с успехом применяются при разведке ряда месторождений.

Авторы будут благодарны всем специалистам, занимающимся вопросами разведки, за высказанные ими замечания по данной работе.

Глава I. Задачи разведочных работ и методы их решения в настоящее время

Общие задачи разведки сформулированы в утвержденных Министром геологии СССР «Методических указаниях по проведению отдельных этапов геологоразведочных работ» [1961] следующим образом: «Разведка месторождений полезных ископаемых проводится для выявления промышленных объектов и получения данных, необходимых и достаточных для рационального проектирования и проведения эксплуатационных работ».

Этими же методическими указаниями этап разведки подразделяется на три стадии:

- а) предварительная разведка;
- б) детальная разведка;
- в) эксплуатационная разведка.

Предполагается, что перед началом стадии предварительной разведки по месторождению уже имеется некоторый геологический материал, полученный в процессе предыдущих этапов геологоразведочных работ, в основном в поисково-разведочную стадию поискового этапа. В методических указаниях по проведению отдельных этапов геологоразведочных работ указывается, что на поисково-разведочной стадии выполняются следующие работы:

- а) геологическая съемка в масштабе 1 : 25 000—1 : 1000;
- б) геофизические исследования;
- в) геохимические исследования;
- г) шлиховое опробование;
- д) опробование залежей полезных ископаемых;
- е) гидрогеологические и инженерно-геологические исследования;
- ж) проходка горных выработок и буровых скважин.

На этой стадии проводится изучение месторождения с помощью геологического картирования, комплекса наземных геофизических методов, геохимических исследований, вскрытия выходов рудных тел поверхностными горными выработками или картировочными скважинами. Содержанием работ поисково-разведочной стадии предусматривается также подсечение рудных тел одной или двумя скважинами с целью выяснения характера оруденения на глуби-

не, определения элементов залегания рудных тел и изучения руд, не затронутых вторичными процессами.

В результате проведения работ на поисково-разведочной стадии должен быть определен промышленный тип месторождения и контуры его в плане (в случае очень крупного месторождения — часть контура). В геологически обоснованном контуре месторождения подсчитываются запасы категории C_2 , а перспективные запасы, не привязанные к определенным контурам, оцениваются в порядке прогноза.

Основной задачей предварительной разведки является получение данных о структуре месторождения, запасах полезного ископаемого, его качестве, условиях залегания, технологических свойствах, гидрогеологических, горнотехнических и других особенностях, необходимых для обоснованной промышленной оценки месторождения. По данным предварительной разведки месторождения выявляются природные типы полезного ископаемого и подсчитываются его балансовые и забалансовые запасы в основном по низким категориям. На месторождениях, уходящих на очень большие глубины, подсчет запасов производится до условных глубин, доступных для горно-эксплуатационных работ.

Запасы полезного ископаемого должны быть разведаны не выше чем до категории C_1 , с большей или меньшей долей запасов категории C_2 в количествах и соотношениях, обеспечивающих надежную промышленную оценку месторождения.

Конкретные задачи предварительной разведки могут быть сформулированы следующим образом.

1. Выявление и прослеживание геологических контуров и структурно-тектонических элементов.

2. Определение элементов залегания рудных тел.

3. Выявление общих контуров рудных тел.

4. Нахождение средней мощности рудных тел.

5. Определение среднего содержания полезных компонентов в рудных телах.

6. Получение проб для технологических испытаний полезного ископаемого.

7. Составление гидрогеологической характеристики месторождения.

8. Определение горнотехнических параметров пород и руд.

В процессе детальной разведки устанавливаются структура месторождения, форма и условия залегания тел полезного ископаемого, его качество, пространственное распределение в месторождении природных типов и промышленных сортов руд, гидрогеологические, горнотехнические и другие особенности месторождения и т. п. На этой стадии работ уточняется общая оценка месторождения, данная в стадию предварительной разведки, и с требуемой степенью достоверности определяются запасы полезного ископаемого, предназначенные для первоочередной отработки.

На вновь вводимых в эксплуатацию месторождениях должны быть получены данные, обеспечивающие составление проекта гор-

нодобывающего предприятия на базе всего месторождения или его участка. С этой целью запасы месторождения или его участка разведываются до категории В и C_1 в соотношениях, предусмотренных классификацией запасов твердых полезных ископаемых.

На эксплуатируемых месторождениях запасы полезного ископаемого должны быть переведены в высшие категории в количествах, необходимых для обеспечения нормального ведения горно-подготовительных и очистных работ в соответствии с производственными планами предприятий.

Конкретные задачи детальной разведки приведены ниже.

1. Детализация и уточнение контуров и морфологии рудных тел (контуров выклинивания, сплошность рудных тел, наличие пустых «окоп» и т. п.).

2. Выявление сопутствующих «слепых» рудных тел.

3. Определение участков рудных тел, резко выделяющихся по морфологии (мощности, элементам залегания и т. п.).

4. Установление распределения полезных компонентов в пределах рудных тел, оконтуривание природных типов и промышленных сортов руд, выделение непромышленных участков внутри рудных тел.

Эксплуатационная разведка уточняет контуры рудных тел, горнотехнические условия и запасы для обеспечения фронта добычи полезного ископаемого, рациональное планирование и проектирование подготовительных и очистных работ. Таким образом, основная задача эксплуатационной разведки — предельно уточнить данные предшествующих стадий разведки. Конкретные задачи здесь определяются главным образом системой и характером горно-эксплуатационных работ на месторождении и в данном руководстве не рассматриваются.

В настоящее время основным средством получения информации при разведке рудных месторождений являются буровые скважины и горные выработки. Поэтому все ныне существующие системы разведки рудных месторождений основаны на использовании совокупности горных выработок (подземных и поверхностных) и буровых скважин, которые вскрывают и пересекают рудные тела, контакты пород и другие геологические элементы.

Сложность и трудоемкость решения тех или иных задач разведки меняется в зависимости от видов полезных ископаемых, типа месторождения, характера рудных тел. Известно, что необходимое число наблюдений для определения какого-либо переменного признака с заданной достоверностью зависит от характера изменчивости этого признака. Чем больше изменчивость признака, тем большее число наблюдений необходимо для надежного определения его среднего значения. Отсюда следует, что общее число необходимых при разведке наблюдений, т. е. разведочных пересечений (или выработок), устанавливается требованием надежного определения признака, обладающего наибольшей изменчивостью.

Основными параметрами, характеризующими промышленную ценность рудных месторождений, являются: размеры рудных тел

по падению и простиранию, их мощность, содержание полезных компонентов, объемный вес руды. Степень изменчивости именно этих признаков и определяет в основном характер и систему разведки месторождения.

Для группы сульфидных месторождений, которые рассматриваются в настоящем руководстве, большей изменчивостью обладает мощность рудных тел и меньшей — содержание полезных компонентов. Поэтому для медноколчеданных и полиметаллических месторождений количество выработок, необходимое для оконтуривания рудного тела (или отдельных типов и сортов руд) с требуемой детальностью, обычно достаточно для надежного определения среднего содержания в руде.

Количество выработок и расстояния между ними для разведки рудного тела или отдельных блоков устанавливаются заданной детальностью разведки, т. е. необходимой точностью определения основных параметров оруденения и подсчета запасов. Существующая в СССР классификация запасов не имеет числовой характеристики требуемой точности подсчета запасов по той или иной категории. Определение категорий запасов в действующей классификации запасов месторождений твердых полезных ископаемых даны в недостаточно точных выражениях. Например, запасы категории В характеризуются как «...запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение основных особенностей условий залегания, формы и характера строения тел полезного ископаемого», а запасы категории С₁ — как «...запасы, разведанные и изученные с детальностью, обеспечивающей выяснение в общих чертах условий залегания, формы и строения тел полезного ископаемого». Очевидно, что на основе таких формулировок и требований невозможно объективно, математически рассчитать разведочную сеть и установить правомерность применения тех или иных методов и технических приемов разведки.

Как известно, точность вычисления средних значений переменных признаков (в данном случае параметров оруденения) определяется не расстоянием между точками наблюдений, а количеством последних в подсчитываемом объеме. Поэтому расстояние между разведочными выработками должно зависеть не только от характера месторождения, но и от размеров тех блоков, по которым производится подсчет запасов (эксплуатационные блоки, горизонты, участки, рудное тело в целом и т. д.). Достиженные успехи в разработке новых методов изучения месторождений полезных ископаемых дают основания для пересмотра рекомендованных сеток разведки, и последние не должны рассматриваться как строго обязательные и могут существенно меняться в зависимости от конкретной обстановки. Об этом достаточно говорится и в инструкциях ГКЗ. Это обстоятельство дает возможность существенно повысить экономическую эффективность разведки за счет разрежения разведочных сетей в результате применения новых прогрессивных методов разведки, не снижая ее геологической эффективности.

В настоящее время общая принципиальная схема разведки рассматриваемых в руководстве типов месторождений выглядит следующим образом.

При мощности наносов до 10—20 м поверхность месторождения разведывается канавами или шурфами, располагаемыми через 20—40 м по простиранию рудных тел. При большей мощности перекрывающих пород поверхность месторождения разведывается буровыми скважинами, углубляемыми в коренные породы на 10—20 м. При этом применяются различные геофизические и геохимические методы, если исследования этими методами не были выполнены ранее на поисково-разведочной стадии. Геофизические методы используются для определения контуров рудных тел на поверхности выхода, геохимические (металлометрия) — для выделения перспективных участков и проверки геофизических аномалий. По данным разведки поверхности подсчитываются запасы категории C_2 (для выдержанных крупных месторождений — частично C_1) путем экстраполяции оруденения на глубину. Величина экстраполяции определяется по геологическим соображениям, по данным геофизических наблюдений и в зависимости от протяженности рудного тела по поверхности земли.

Дальнейшая предварительная разведка месторождения на глубину осуществляется, как правило, буровыми скважинами, располагаемыми по прямоугольной сети. На месторождениях со сложной, невыдержанной морфологией и неравномерным содержанием полезного ископаемого уже на стадии предварительной разведки проходится некоторое количество горных выработок (обычно горизонтальных) — изучается строение месторождения и выявляется характер изменчивости содержания металла в руде. При невозможности вскрытия месторождения штольневыми выработками производится сгущение сети буровых скважин и только в редких случаях применяется проходка разведочных шахт с системой штреков.

Размеры разведочной сети на стадии предварительной разведки для подсчета запасов категории C_1 обычно составляют для полиметаллических месторождений 80—200 м, для олова 50—100 м. Нижние горизонты и фланги месторождения обычно разбуриваются по более редкой сети, и запасы там подсчитываются по категории C_2 .

Следует отметить, что очень часто в результате зенитных и азимутальных искривлений скважин принятый размер разведочной сети сильно искажается и зачастую принимает совершенно беспорядочный вид. На рис. 1 показано фактическое положение проекций стволов скважин и точки подсечения ими рудных тел при разведке одного из полиметаллических месторождений на Рудном Алтае при принятой методике разведки по прямоугольной сети размером 100×100 м.

Подобные результаты разбуривания площади, которые часто имеют место в практике разведочных работ, весьма осложняют проведение интерполяции между скважинами рудных подсечений,

искажают определение мощностей рудных тел и т. п. Как следствие этого составленные по данным одного бурения разведочные разрезы неправильно отображают истинное положение руд в нед-

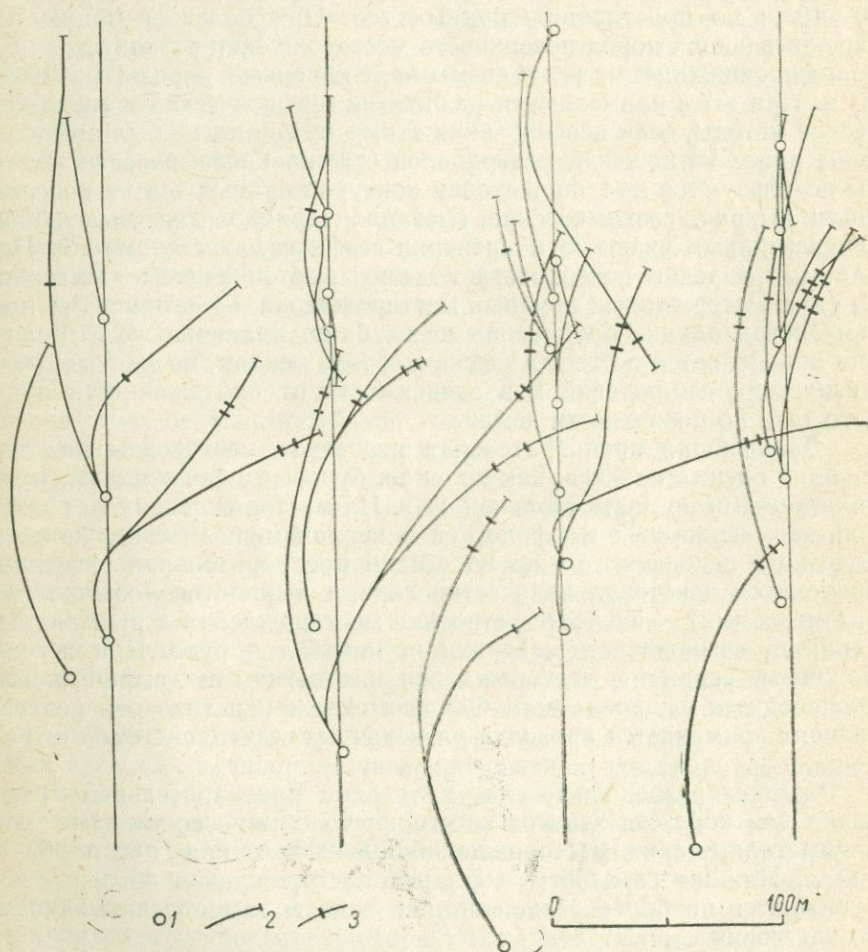


Рис. 1. Проекция буровых скважин на горизонтальную плоскость, полиметаллическое месторождение Рудного Алтая.
 1 — устье; 2 — проекция ствола скважины на поверхность; 3 — точки рудных пересечений.

рах, что в конечном итоге приводит к значительным трудностям и перерасходу средств при проведении дальнейших работ.

Детальная разведка с подсчетом запасов по высоким категориям А и В производится, как правило, горными выработками или комбинированными способами. Только на очень крупных и выдержанных месторождениях запасы категории В иногда подсчитываются по данным буровых работ. При малой мощности рудных

тел разведка ведется штольнями или штреками по простиранию рудного тела с опробованием последнего в забое выработки. Более обычным является случай, когда мощность рудных тел или зон оруденения превышает сечение горной выработки. В этих случаях штрек проходится по общему направлению рудного тела, иногда полностью вне его, а для опробования тела проходятся орты или горизонтальные скважины подземного колонкового бурения, пересекающие всю мощность оруденения. Расстояния между ортами (или скважинами ГП) устанавливаются обычно 20—40 м для полиметаллических месторождений и в 10—20 для оловянных. Для поисков параллельных рудных тел через каждые 50—100 м по простиранию проходятся квершлагги или скважины ГП, пересекающие всю зону оруденения.

В случаях, когда по условиям рельефа вскрытие месторождения выработками штольневого типа невозможно и требуется проходка шахт, детальная разведка нередко совмещается с подготовкой месторождения к эксплуатации и осуществляется с помощью разведочно-эксплуатационных шахт (РЭШ). Места заложения и сечения РЭШ выбираются с учетом интересов будущей отработки месторождения, а сами РЭШ используются в дальнейшем как вентиляционные или вспомогательные стволы.

Таковы наиболее распространенные в настоящее время методы решения основных разведочных задач. Как было отмечено ранее, разработанные в последнее время скважинные геофизические и геохимические методы и технические приемы направленного и многозабойного бурения позволяют по-новому решать многие из этих задач.

Глава II. Условия применения скважинных геофизических методов при разведке сульфидных месторождений

Накопленный опыт применения скважинных геофизических и геохимических методов указывает на принципиальную возможность существенно усовершенствовать методику разведки сульфидных месторождений.

Подобные месторождения обладают разнообразными физико-химическими качествами, как правило, резко отличными от аналогичных качеств рудовмещающих толщ. Это значительно облегчает решение поставленной задачи, однако степень эффективности рекомендуемой ниже комплексной методики разведки обусловлена целым рядом условий, определяющих применимость и эффективность всех или некоторых скважинных геофизических и геохимических методов. К числу таких важнейших условий относятся: характер физических свойств вмещающих пород и руд месторождений и специфические геологические особенности вмещающей среды, мешающие проведению геофизических исследований; морфологические особенности месторождений и рудных тел, так или иначе влияющие на применимость методов, и некоторые чисто технические условия использования последних, связанные с технологией бурения скважин и доступностью их для ведения геофизических работ и т. д. Соответственно в этой главе будет рассмотрено следующее.

1. Физические свойства сульфидных руд и вмещающих пород.
2. Скважинные геофизические методы и их применение на промышленных типах сульфидных месторождений.
3. Влияние морфологических особенностей сульфидных рудных тел на эффективность скважинных геофизических методов.
4. Некоторые технические условия использования скважинных геофизических методов.

§ 1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУЛЬФИДНЫХ РУД И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Для скважинных геофизических методов наиболее важными свойствами являются удельное электрическое сопротивление, поляризуемость и электрохимические свойства пород и руд.

Ведущая роль принадлежит удельному электрическому сопротивлению; именно на различиях этого физического свойства для руд и вмещающих пород основано применение метода заряда на постоянном или низкочастотном токе и его разновидности — метода электрической корреляции, а также методов радиоволнового просвечивания, индукционной электроразведки (ДЭМПС и др.).

Высокая поляризуемость массивных и, что особенно важно, вкрапленных руд по сравнению с поляризуемостью вмещающих неминерализованных пород служит базой применения метода вызванной поляризации (ВП).

Электрохимические свойства в сочетании с высокой электронной проводимостью руд некоторых типов сульфидных месторождений обуславливают использование метода естественного электрического поля, метода поляризационных кривых (КСПК). Радиоактивные свойства пород и руд определяют применение ядерных геофизических методов.

Удельное сопротивление ионопроводящих горных пород обусловлено в основном пористостью, влагонасыщенностью, составом и концентрацией солей внутриводных вод в породе [Справочник геофизика, т. III]. Рост величин перечисленных параметров или какого-либо одного из них влечет уменьшение удельного сопротивления горной породы. Кроме того, проводимость породы существенно зависит от количества и текстурных особенностей заключенных в породе электропроводящих (чаще всего рудных) минералов: сульфидов, магнетита, пиролюзита, графита, некоторых органических веществ (угли, шунгиты). Полный список электропроводящих минералов приведен в Справочнике геофизика, т. III.

Величины удельного сопротивления большинства горных пород рудных районов приведены в табл. 1.

Удельное электрическое сопротивление сульфидных руд. Основные рудные минералы сульфидных руд (медных, полиметаллических, сульфидно-касситеритовых месторождений) обладают высокой проводимостью, в десятки — тысячи раз более высокой, чем проводимость вмещающих пород. Исключения составляют сфалерит, киноварь, реальгар и некоторые другие сульфидные минералы, не обладающие электронной проводимостью. Плохо проводят электричество и такие рудные и жильные минералы, как касситерит, шеелит, барит, сидерит и др.

Сопротивление сульфидных руд определяется концентрацией сульфидов в руде, текстурными особенностями рудной вкрапленности и составом рудных минералов. Если в породе с высоким сопротивлением породообразующих минералов проводящие компоненты находятся в виде изолированных зерен, то последние не оказывают существенных влияний на ее сопротивление. Однако достаточно присутствия всего нескольких процентов непрерывно связанных между собой проводящих включений, чтобы уменьшить удельное сопротивление породы в несколько десятков раз.

Удельное электрическое сопротивление горных пород и руд
(по Н. Б. Дортман и др.)

Геологические образования	Удельное электрическое сопротивление, <i>ом·м</i>	
	минимальное	максимальное
Рыхлые отложения (глины, суглинки)	1	100
Терригенно-осадочные породы (песчаники, сланцы и пр.)	1—5	100
Карбонатные породы	50	$1 \cdot 10^5$
Роговики	$5 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$
Скарны	$5 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$
Граниты, гранодиориты, кварцевые порфиры	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$
Порфириты, диабазы, базальты	$5 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^4$
Графитизированные сланцы	1	500
Графит :	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Руды:		
массивные медноколчеданные	0,001	1
вкрапленные медноколчеданные	0,1	1000
сплошные цинковые с халькопиритом и другими сульфидами	1	300
сплошные полиметаллические	0,05	10
богатые вкрапленные полиметаллические	2	100
убогие вкрапленные полиметаллические	5	1000
окисленные	20	3000

Массивные медноколчеданные руды при малом содержании кварца, сфалерита и серицита в рудном цементе характеризуются удельными сопротивлениями 10^{-3} — 10^{-2} *ом·м*. При возрастании количества этих минералов электрическая связь между зернами сульфидов нарушается и сопротивление руд возрастает до 10^2 — 10^3 *ом·м*. Часто вкрапленные руды имеют полосчатую текстуру и располагаются цепочками; сопротивление руд при этом составляет около 10^{-1} *ом·м*.

Сопротивление существенно цинковых руд может быть велико и приближается к сопротивлению вмещающей породы. Однако из-за сложного прорастания сфалерита халькопиритом и другими сульфидами часто между зернами сульфидов образуется тонкая токопроводящая сеть, что снижает сопротивление руд до 10^{-1} — 10 *ом·м*.

Полиметаллические руды по разнообразию состава и текстур характеризуются широким диапазоном удельных электрических сопротивлений.

Наиболее низким сопротивлением (10^{-2} — 10 *ом·м*) обладают сплошные руды, состоящие из галенита, пирита, халькопирита. Электропроводность руд уменьшается по мере увеличения содержания сфалерита, однако, по В. А. Мейру, непроводниками являются только мономинеральные сфалеритовые руды. Богатые вкрапленные руды, так же как и бедные полосчатые руды, по со-

противлению мало отличаются от сплошных руд и имеют сопротивление порядка 1—100 ом·м. Удельное сопротивление убогих крапленых руд достигает 1000 ом·м и выше.

Электропроводность окисленных руд обусловлена главным образом минерализованной водой, насыщающей их поры. В зависимости от пористости, влагонасыщенности и солёности вод удельное сопротивление окисленных руд изменяется в широких пределах — от 20 до 3000 ом·м.

Пределы изменения удельного электрического сопротивления некоторых основных типов сульфидных руд приводятся в табл. 1.

Электрохимические свойства. Месторождения сульфидных руд резко выделяются среди других геологических образований рядом свойств, которые в конечном счете определяются электронной проводимостью слагающих их минералов и могут быть объединены в понятие «электрохимические свойства». Основным свойством является устойчивое различие скачков потенциала (электродного потенциала) на границе разных частей рудного тела с вмещающей ионной средой.

Существование устойчивых электродных потенциалов и определяет возникновение и существование естественных электрических полей сульфидных месторождений. Интенсивность естественных электрических полей зависит от ряда природных и геологических факторов. Среди них могут быть выделены следующие: обводненность, состав и различие вод, омывающих месторождение, тектурные особенности и удельное сопротивление руд, глубина залегания месторождения, уровень его эрозионного среза, мощность и проводимость наносов и др.

Наиболее интенсивные аномалии естественного поля наблюдаются на участках, где месторождения в своих верхних частях залегают выше уровня застойных грунтовых вод.

Крапленая текстура руд, их высокое удельное сопротивление, наличие в них перерывов или пережимов, сильно увеличивающих сопротивление естественному току, текущему через рудное тело, ослабляют естественное поле вне тела.

Увеличение глубины залегания месторождения, мощности и проводимости наносов снижает интенсивность естественных полей, наблюдающихся на поверхности земли [Справочник геофизика, т. III]. Краткая сводка интенсивности аномалий естественных полей для сульфидных месторождений различных типов составлена Г. Б. Свешниковым [1967.].

Поляризуемость горных пород и руд проявляется в возникновении в них вторичных электрических потенциалов при пропускании постоянного электрического тока, убывающих во времени после выключения последнего.

Поляризуемость электропроводящих минералов намного интенсивнее, чем ионопроводящих минералов и пород, и это служит основой использования метода ВП для выявления руд.

Поляризуемость вмещающих пород служит тем фоном, на котором выделяются аномалии кажущейся поляризуемости.



обусловленные оруденением. Поляризуемость горных пород, не несущих рудной (сульфидной, магнетитовой) или графитовой минерализации, определяется составом пород и их удельным электрическим сопротивлением, но изменяется всегда в очень небольших

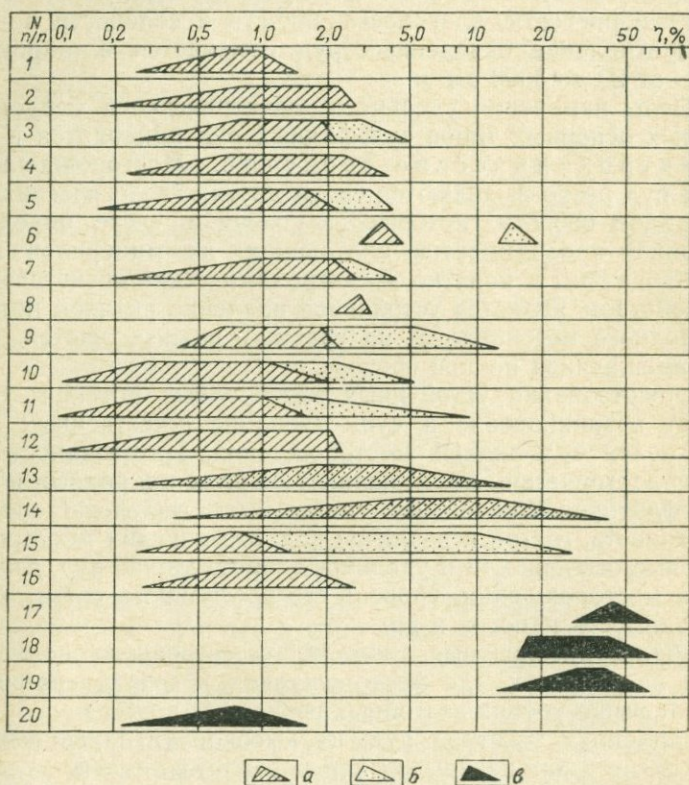


Рис. 2. Значения поляризуемости горных пород и руд (по материалам В. А. Комарова, А. Н. Балашева, О. М. Шаповалова, И. И. Попова, П. В. Храмышкина, В. И. Лемеца, Б. Е. Жакупова).

a — породы без сульфидов; *б* — породы с вкрапленностью сульфидов; *в* — руды сплошные и вкрапленные.

Типы пород: 1 — пески, глины, суглинки; 2 — граниты; 3 — кварцевые порфиры и их туфы; 4 — диориты; 5 — порфиры и их туфы; 6 — габбро; 7 — базальты и их туфы; 8 — лампрофилы; 9 — глинистые сланцы, песчаники; 10 — известняки; 11 — доломиты; 12 — кварц-серпичитохлоритовые сланцы; 13 — графитизированные сланцы; 14 — углистые известняки; 15 — скарны с сульфидами; 16 — кварц; *типы руд:* 17 — массивные медноколчеданные; 18 — сплошные полиметаллические; 19 — вкрапленные полиметаллические; 20 — окисленные.

пределах, не превышающих некоторого уровня (фона). При этом более высокую поляризуемость имеют породы с более высоким сопротивлением.

Поляризуемость горной породы, содержащей вкрапленность электропроводящих минералов, увеличивается пропорционально количеству этой вкрапленности [Комаров, 1962]. Представление о величинах поляризуемости вмещающих пород и руд дает рис. 2.

Помимо давно известных качеств (высокой электропроводности и способности создавать естественные электрические поля и поля вызванной поляризации) сульфидная руда обладает еще рядом специфических свойств. Сульфиды способны служить объектом полярографического анализа усредненного металлического состава руд залежи в ее естественном залегании, при этом залежь является естественным электродом.

Поляризационная диаграмма, представляющая собой зависимость между силой или плотностью тока, протекающего через минерал, и контактной разностью потенциалов на границе минерала с вмещающей средой, состоит из нескольких ступеней, отвечающих определенным электрохимическим реакциям. Каждая реакция характеризуется своим потенциалом или величиной контактной разности потенциалов, при которых протекает соответствующий процесс, и значением предельной силы или плотности тока, являющегося максимальной величиной для данной реакции. Эти поляризационные характеристики для разных электропроводящих минералов, в том числе сульфидов, различны.

Для рудного тела в целом характерен некоторый усредненный потенциал по отношению к вмещающим породам. Величина его при отсутствии сторонних полей будет определяться усредненным значением контактных разностей потенциала на границе тела и контактной разностью потенциала электрода сравнения. Если к рудному телу подключить источник тока, то это вызовет изменения в ходе процессов, которые имели место в рудном теле в его исходном состоянии. При этом на границе рудного тела будут идти те процессы, которые усиливаются внешним воздействием. В общем случае поляризационная диаграмма, полученная при постепенном изменении напряжения источника тока, отразит все электрохимические процессы, протекающие на рудном теле, последовательными ступенями.

Каждый отдельный процесс отвечает реакции (или группе реакций) на одном каком-либо минерале. Для разных минералов потенциалы и число этих реакций различаются. Поэтому по указанным параметрам можно судить о минеральном составе рудных тел.

При поляризационных измерениях помимо представления о составе рудных тел можно получить сведения и о размерах последних. Для этого используются коэффициенты перевода между величиной поверхности рудного тела и значением предельной силы тока соответствующих реакций [Рысс, 1969].

Значения предельной силы тока отдельных реакций используются также для оценки соотношения количеств минералов. С этой целью подсчитываются отношения величин предельной силы тока интересующих минералов к сумме предельных сил тока всех минералов, слагающих рудное тело. Величины этих отношений характеризуют ту долю, которую занимает соответствующий минерал в рудном теле.

Характеристика скважинных геофизических методов

Метод	Назначение	Аппаратура, выпускаемая серийно	Условия применения	Дальность действия от ствола скважины, м
Естественного электрического поля	Нахождение сульфидных (массивных и вкрапленных) руд в околоскважинном и призабойном пространстве. Определение протяженности оруденения на глубину	Аппаратура постоянного тока (ЭСК-1 и др.). Каротажные станции АЭКС-900 и др.	В одиночных скважинах и группах скважин, в том числе (при большой мощности рыхлых отложений) в картировочных (любой диаметр)	200—400
Вызванной поляризации	Выявление сульфидных (в том числе вкрапленных) руд в околоскважинном (и межскважинном) пространстве. Определение размеров оруденения по простирацию и падению	ВПО-62, ВПС-63, ВПП-62, ВПП-67	В одиночных скважинах и группах скважин глубиной до 1000 м (любой диаметр скважины)	50—100, иногда до 200
Скважинной электроразведки постоянным током (варианты заряда, корреляции и др.)	Обнаружение сульфидных (сплошных и прожилково-вкрапленных) руд в околоскважинном, призабойном и межскважинном пространстве. Определение элементов залегания, размеров, формы рудных тел, их сплошности. Корреляция рудных подсечений	Аппаратура постоянно-го (ЭСК-1 и др.) и низкочастотного (АНЧ, ИКС и т. п.) тока. Каротажные станции АЭКС-900 и др.	В одиночных скважинах (в том числе при большой мощности рыхлых отложений), в группах скважин глубиной до 1000—1500 м	До 300

Скважинной индукционной электроразведки (варианты ДЭМПС и ННП)	Установление сплошных сульфидных руд в околоскважинном пространстве. Определение размеров и элементов залегания рудных залежей, выявление массивных руд среди зон вкрапленников	АСМИ, САФИ-3	В одиночных скважинах глубиной до 1000 м (в варианте ДЭМПС диаметр от 56 мм и более)	60—80
Радиоволнового просвечивания	Выявление сульфидных руд в межскважинном пространстве, определение размеров, морфологии и мест выклинивания рудных тел, их сплошности между скважинами. Увязка рудных пересечений	СРП-6	В парах скважин	От 50 до 300—400 (в зависимости от электрических свойств просвечиваемых пород)

Кроме охарактеризованного выше явления, используются для разработки методов выявления руд также полупроводниковые свойства сульфидных минералов, пьезоэлектрический эффект, наблюдаемый у сфалерита, и магнитный — у пирротина и т. п.

§ 2. СКВАЖИННЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ НА СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

В табл. 2 приведен перечень скважинных геофизических методов, с помощью которых возможно решение некоторых разведочных задач, а также назначение этих методов, названия серийно выпускаемой аппаратуры, условия применения методов и дальность действия от ствола скважин.

В табл. 3 отмечены благоприятные и осложняющие факторы, имеющие место на сульфидных месторождениях и контролирующие эффективность использования отдельных скважинных геофизических методов на этапе разведочных работ.

В табл. 4 приведены перечень и характеристика наиболее важных промышленных типов сульфидных месторождений и дана оценка эффективности применения скважинных геофизических методов на том или ином типе месторождений.

Из табл. 4 следует, что для проведения скважинных геофизических исследований при решении ряда разведочных задач наиболее благоприятны условия полиметаллических и медноколчеданных месторождений, залегающих в

Характеристика условий применения скважинных геофизических методов

Методы	Факторы, благоприятные для успешного применения методов	Факторы, осложняющие применение методов	Примечания
Естественного электрического поля (ЕП)	Электрохимические свойства и низкое удельное электрическое сопротивление руд, массивные и прожилковые текстуры руд, силикатные вмещающие породы	Наличие графитизированных и углистых пород в разрезе, вкрапленная текстура руд, карбонатная вмещающая среда, интенсивные промышленные и теллурические помехи	Метод наиболее эффективен на крутопадающих лентовидных и пластообразных месторождениях, выходящих верхней частью в зону просачивания грунтовых вод
Вызванной поляризации (ВП)	Высокая поляризуемость руд и слабая поляризуемость вмещающей среды	Наличие углистых, графитизированных, пиритизированных пород или пород с вкрапленным магнетитовым оруденением. Интенсивные промышленные помехи	Большая мощность наносов препятствует применению метода в модификациях „скважина — поверхность“
Скважинной электро-разведки постоянным током (варианты заряда, корреляции и др.)	Электрическое сопротивление руд на 2—3 порядка ниже сопротивления вмещающей среды. Форма рудных тел лентовидная, линзообразная, пластообразная. Текстуры руд массивные и прожилковые, состав преимущественно колчеданный	Существенно сфалеритовый состав руд, вкрапленная текстура руд, многочисленные разрывы сплошности рудных тел. Наличие хорошо проводящих пород в разрезе (углистых пород, зон трещиноватости, обводнения и т. п.)	Варианты метода в модификации „скважина — поверхность“ наиболее эффективны для крутопадающих, не глубоко залегающих рудных тел. Наносы выдержанной мощности не препятствуют проведению работ при достаточной глубине погружения источника тока
Скважинной индукционной многочастотной	Очень низкое сопротивление руд. Массивная текстура, руд	Вкрапленная и прожилково-вкрапленная текстура руд,	

<p>электроразведки (варианты ДЭМПС и ННП)</p>	<p>Четкие контакты руд с вмещающей средой</p>	<p>наличие хорошо проводящих графитизированных пород</p>	<p>Метод особенно важен для изучения положения и сплошности полого лежащих тел, где применимость метода скважинной электроразведки постоянным током ограничена</p>
<p>Радиоволнового просвечивания</p>	<p>Электрическое сопротивление руд на 1—2 порядка ниже сопротивления вмещающей среды. Четкие контакты руд с вмещающей средой, выпуклые формы рудных тел. Относительно высокое удельное сопротивление вмещающей среды</p>	<p>Наличие хорошо проводящих объектов в разрезе (с низкой проводимостью). Низкое удельное сопротивление (до 100 Ом·м) вмещающей среды. Сухие скважины, редкие скважины. Малое углубление скважин ниже пересеченного рудного горизонта</p>	<p>Метод особенно важен для изучения положения и сплошности полого лежащих тел, где применимость метода скважинной электроразведки постоянным током ограничена</p>

эффузивно-осадочных силикатных породах, а также сульфидно-касситеритовых, т. е. типы сульфидных месторождений, методика разведки которых рассматривается в данном руководстве. Для остальных типов сульфидных месторождений, указанных в табл. 4, необходимо продолжить научно-исследовательские работы, в результате которых должен быть накоплен опыт применения скважинных методов, выработаны приемы наблюдений и истолкования результатов.

§ 3. ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СУЛЬФИДНЫХ РУДНЫХ ТЕЛ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СКВАЖИННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

До настоящего времени специальными исследованиями не установлено влияние различных морфологических особенностей месторождений и отдельных рудных тел на эффективность применения скважинных геофизических методов. Нами излагаются лишь предварительные данные из опыта опробования скважинных геофизических методов на месторождениях различных морфологических типов, накопленного сотрудниками ВИТР и производственных организаций.

Первым, общим для всех методов условием, способствующим успешному применению скважинной геофизики, является простота и выдержанность формы рудных скоплений (будь то отдельное рудное тело или месторождение в целом) и равнозначность в их пределах тех или иных физических свойств руд.

Характеристика промышленных типов сульфидных месторождений

Месторождения	Доля в мировом балансе добычи металла, %	Морфология и размеры рудных тел
<p>I. Свинец и цинк (полиметаллы)</p> <p>1. Гидротермальные метасоматические в туфо-эффузивных породах</p>	25	Пластообразные или жилообразные залежи, линзы, штоки. Протяжение сотни метров при мощности до 20—40 м. Участки сплошных руд перемежаются и окаймляются зонами вкрапленных руд
2. Гидротермально-метасоматические в карбонатных породах	25	Сложные трубообразные и ветвящиеся залежи различных размеров — от 1 м ² до линз и штоков сечением до 1000 м ² . Выделяются два типа: со скарнами и без скарнов
3. Гидротермальные пластовые тела вкрапленных руд в карбонатных породах	50	Зоны вкрапленных руд, приуроченные к некоторым пластам известняка или доломита. Имеют пластообразную форму. Протяженность их определяется сотнями метров, иногда первыми километрами. Мощность от долей метра до 20—30 м
4. Гидротермальные жильные	—	Жилы и жильные зоны полиметаллических руд, имеют различные размеры — достигают длины в 2—3 км при мощности до 10—15 м; чаще длина составляет сотни метров при мощности 1—2 м
<p>II. Медь</p> <p>Медистых песчаников</p>	20—25	Пласты и линзы значительной протяженности (сотни квадратных метров — квадратные километры по площади, единицы — десятки метров по мощности)

и оценка применения скважинных геофизических методов

Таблица 4

Вещественный состав руд (А — рудные, Б — жильные)	Вмещающие породы	Типичные представители	Эффективность применения скважинных методов
<p>А — галенит, сфалерит, пирит, халькопирит, второстепенные: блеклые руды, висмутин, арсенопирит, теллуристые минералы. Руды содержат серебро и золото</p> <p>Б — кварц, барит, карбонаты</p>	<p>Туфо-эффузивные различного состава. Измененные разности представлены различными метаморфическими сланцами</p> <p>Широко проявляется хлоритизация, серицитизация, окварцевание</p>	М-ния Рудного Алтая	Высокая для всех методов
<p>Скарновые м-ния</p> <p>А — галенит, сфалерит, пирит; второстепенные: арсенопирит, блеклые руды, халькопирит, пирротин</p> <p>Б — пироксен, гранат; амфиболы, карбонаты</p> <p>Бесскарновые м-ния</p> <p>А — рудные минералы те же</p> <p>Б — кварц, карбонат, иногда барит, флюорит, серицит</p>	Карбонатные	М-ния Приморья	Получены положительные результаты на отдельных месторождениях
<p>А — пирит, галенит, сфалерит; второстепенные: халькопирит</p> <p>Б — барит, флюорит</p>	Карбонатные	М-ния хребта Каратау	То же
<p>А — галенит, сфалерит; второстепенные: пирит, пирротин, арсенопирит</p> <p>Б — кварц, кальцит, сидерит, хлорит</p>	Различные породы сложного комплекса. В дальних экзоконтактах интрузий кислого и умеренно кислого состава	М-ния Кавказа	Нет опыта применения
<p>А — борнит, халькопирит, пирит; второстепенные, тетраэдрит, галенит, сфалерит</p> <p>Б — кварц, кальцит</p>	Песчано-сланцевые	Тип Джек-казгана	То же

Месторождения	Доля в мировом балансе добычи металла, %	Морфология и размеры рудных тел
Гидротермальные медно-порфировые	до 50	Штокверки неправильной или изометрической формы (площади горизонтального сечения от десятых долей до нескольких квадратных километров на глубину сотни метров)
Магматические медно-никелевые	10—20	Крупные пластообразные залежи массивных или вкрапленных руд (площадь в первые квадратные километры, размеры линз и жил меньше)
Медноколчеданные (гидротермально-метасоматические)	10—15	Линзы, жилы и штоки средних размеров (длина — сотни метров, мощность в раздутах — десятки метров)
III. Олово Гидротермальные сульфидно-касситеритовые	15—25	Линзы, жилы, жильные зоны, трубы, штокверки. Жильные тела достигают длины в сотни метров при мощности в несколько метров

Наиболее благоприятными для применения большинства методов являются линейновытянутые пластообразные, лентообразные, линзообразные тела и жилы, характерные для сульфидных месторождений, залегающих в «сквозных» линейных геологических структурах, часто развивающихся в силикатных вмещающих породах. Достаточно благоприятны также изометрические формы тел, характерные для штокверковых месторождений. При прочих равных условиях тела с такими формами дают наиболее простые аномальные поля, которые легко сравнить с теоретически рассчитанными аномальными полями и геологически истолковать.

Затруднительно применение скважинных геофизических методов, когда тела имеют сложную форму (ветвящиеся, искривленные, столбообразные трубообразные залежи, типичные для поли-

Вещественный состав руд (А — рудные, Б — жильные)	Вмещающие породы	Типичные представители	Эффективность применения скважинных методов
А — халькопирит, пирит, халькозин; второстепенные: молибденит Б — кварц, кальцит, барит	Кислые эффузивные и интрузивные, часто измененные до вторичных кварцитов	М-ния Ц. Казахстана и Ср. Азии	Малый опыт применения
А — пирротин, халькопирит, пентландит; второстепенные: миллерит, магнетит, кобальтин и др. Б — плагиоклазы, амфиболы, пироксены, хлорит	Основные и ультраосновные массивы (нориты, перидотиты, пироксены)	М-ния Кольского полуострова и Норильского района	Недостаточный опыт применения. Можно ожидать высокую эффективность
А — пирит, халькопирит, сфалерит; второстепенные: блеклые руды, марказит, магнетит Б — кварц, серицит, хлорит, кальцит, барит	Туфо-эффузивные и метаморфические „зеленокаменные“ комплексы с зонами серицитовых и серицито-хлоритовых сланцев, непосредственно вмещающих рудные тела	М-ния, Урала, Рудного Алтая, Казахстана	Высокая для всех методов
А — касситерит, станнин; второстепенные: пирит, арсенопирит, пирротин, сульфиды меди, свинца и цинка Б — кварц, турмалин, флюорит, литиевые слюды, хлорит и др.	Граниты, кислые эффузивы, метаморфические песчано-сланцевые и др.	М-ния Северо-Востока и Дальнего Востока	Высокая или средняя (при наличии корреляции сульфидов с касситеритом)

металлических и медных месторождений, приуроченных к карбонатным, скарнированным вмещающим породам) и осложнены многочисленными апофизами или другими секущими телами. Значительные трудности возникают и при работах на месторождениях, представленных многочисленными мелкими, тесно расположенными кулисными линзообразными или пластообразными телами: такие объекты удается проследить как единую зону, а выделить или проследить и оконтурить отдельные тела — затруднительно.

Благоприятными обстоятельствами для проведения скважинных геофизических исследований являются четкая приуроченность рудных тел к определенной структурной, стратиграфической или литологической позиции и незначительная степень изменчивости мощности рудного тела.

Из вышесказанного следует, что благоприятными объектами для ведения работ методами скважинной геофизики являются те, которые по своим морфологическим особенностям относятся к I и II группе месторождений по классификации ГКЗ СССР [Инструкция. . ., 1961].

Вторым, общим для всех методов, условием успешного применения скважинных геофизических методов является достаточно большая величина рудного тела, оцениваемая по сравнению с расстоянием от него до линии наблюдения (будь то профиль на поверхности земли или скважина, по которой ведутся наблюдения). Большинство методов уверенно фиксируются и прослеживаются объекты, линейные размеры которых сопоставимы или превышают указанное расстояние. В табл. 2 приведены данные об эффективном радиусе действия геофизических методов вокруг скважины при исследованиях тел, максимальные линейные размеры которых составляют не менее первых десятков метров.

Наибольшая четкость результатов при исследованиях получается, если в разрезе присутствует лишь одно рудное тело или несколько сравнительно удаленных друг от друга и обособленных. Насыщенность разреза многочисленными мелкими, частично связанными между собой или обособленными телами, скомпонованными в единой структуре, затрудняет четкое выделение или прослеживание каждого отдельного тела в межскважинном пространстве не только методами постоянного тока, естественного поля или ВП, но и такими методами со сравнительно высокой разрешающей способностью определения границ тела, как индукционная электро-разведка (ДЭМПС) или радиоволновое просвечивание (РП).

Непосредственно в стенках скважин могут быть обнаружены и выделены тела и большой, и малой мощности. Малая мощность рудных тел неблагоприятна для применения в скважинах установок профилирования с большими разносами приемных электродов. Величина последних должна быть меньше, чем ожидаемая мощность рудных тел.

Кроме перечисленных выше общих условий влияния пространственного положения и морфологии рудного тела на эффективность применения скважинных геофизических методов известны некоторые специфические особенности влияния условий залегания или особенностей формы тел на действенность отдельных методов или видов установок для работ этими методами. Излагая эти специфические особенности и не распространяя их на месторождения со сложной формой рудных тел (относимых к третьей группе по классификации ГКЗ), опыт работы на которых недостаточен и которые не рассматриваются в настоящем руководстве, остановимся только на тех рудных телах, которые имеют пластобразную и линзообразную уплощенную форму.

1. Падение тел, особенно при значительной глубине залегания месторождений (сотни метров), играет существенную роль для применения установок типа «скважина — поверхность» в методах постоянного тока (заряда и вызванной поляризации).

Благоприятными условиями для работы с этими установками являются вертикальное или крутое падение тел, неблагоприятными — пологое или горизонтальное их залегание. И в том и в другом случае лучшие результаты будут получены для сильно вытянутых по простиранию рудных тел, чем для имеющих изометрическую форму.

Для определения сплошности пологозалегающих рудных тел надежнее применять методы радиоволнового просвечивания или дипольной корреляции.

2. Изгибы пластообразных рудных тел в межскважинном пространстве могут быть установлены только отдельными скважинными геофизическими методами. Если методы ЕП, ВП, скважинной электроразведки на постоянном токе не в состоянии дать нам информацию о положении кромок и поверхностей дугообразно или флексурно изогнутых тел, непрерывных между скважинами или выклинивающихся между ними, то методы ДЭМПС и РП более или менее надежно могут фиксировать положение, углы наклона к оси скважины и детали строения выпуклых поверхностей и границы выклинивания тел.

Вогнутые поверхности имеющимися методами проследить затруднительно, их положение может быть нанесено лишь приближенно на основании известных данных о мощности и ее изменчивости, приуроченности тела к структуре и т. д. Положение поверхностей тел между скважинами удастся проследить более или менее надежно, если плоские тела не имеют изгибов между скважинами или если обе границы тела выпуклые.

3. Нарушение сплошности (разрывы, пережимы мощности, а также резкие смены проводимости руд) по простиранию тела существенно снижает эффективность применения метода заряда, используемого для прослеживания простирания или размеров тел по простиранию. Кроме того, при решении задачи электрической корреляции рудных подсечений их электрическая связь может осуществляться не в данном, а в соседних разрезах, в то время как по наблюдаемому разрезу методом радиоволнового просвечивания устанавливается нарушение сплошности рудного тела.

§ 4. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИМЕНЕНИЯ СКВАЖИННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Получение положительных результатов применения скважинных геофизических методов при решении тех или иных задач разведки зависит от целого ряда технических условий, относящихся, с одной стороны, к наблюдаемым скважинам, с другой — к техническим возможностям самих методов.

Первым условием применения всех скважинных методов является, естественно, доступность скважин на всю глубину ствола для проведения в них наблюдений. Главное здесь заключается в устойчивости стенок скважины, отсутствии в них крупных каверн, а также обсадных труб (кроме интервалов в рыхлых отло-

жениях). Доступность буровых скважин обеспечивается прежде всего соблюдением элементарных мер по сохранению устьев скважин (кондукторов, обсадных труб в насосах) при увозе с площадки вышки и станка. Необходимо также принимать меры при бурении скважин для возможности крепления стенок без обсадных труб, которые препятствуют ведению работ многими методами, и очистки скважин от густого бурового раствора.

Наличие воды или бурового раствора в скважине облегчает проведение наблюдений для большинства методов. Сухие скважины, лишенные воды на всем протяжении или на значительных интервалах, требуют применения специальных устройств на измерительных электродах и смачивания водой стенок.

Проведение радиоволнового просвечивания с аппаратурой СРП-6 в сухих скважинах возможно на больших глубинах, превышающих не менее чем в 2 раза расстояние между исследуемыми скважинами. При этом необходимо обращать особое внимание на хорошее заземление корпусов загрязняющих фильтров в скважинах.

Диаметр скважин для методов, которые требуют помещения в скважину только измерительных или питающих электродов (ЕП, ВП, заряд) не играет существенной роли. Ведение работ методами радиоволнового просвечивания и скважинной индукционной электроразведки, которые требуют погружения гильзы скважинных снарядов, возможно только в скважинах диаметром более диаметра этих снарядов (для СРП-6 — 38, для АСМИ — 56, для ТСМ-К-40 — 40 мм).

Углы наклона скважин имеют значение для методов ДЭМПС и трехкомпонентной магниторазведки. Наблюдения этими методами возможно в скважинах, отклоняющихся от вертикали на 5° и более. Затруднительны исследования всеми методами в скважинах, углы наклона которых менее 50° . В горизонтальных и пологих скважинах (ГП) приходится или устанавливать специальные блочки, крепящиеся «пауками» на забоях, или применять специальные шести для передвижения скважинного снаряда.

Методы РП и ДЭМПС для успешного применения требуют углубления стволов скважин ниже горизонта подсечения рудных тел. Для метода РП приходится углублять ствол на 2—3 шага стоянок приемника (передатчика), т. е. на 20—50 м. Для метода ДЭМПС требуется углубление на 1—1,5 разнеса установки, т. е. на 10—150 м. Углубление желательно и для других методов — на несколько шагов измерительных электродов (до 20—100 м). Наблюдения методом ДЭМПС целесообразно проводить в скважинах глубиной менее 100—150 м, в которых может поместиться только установка метода и не останется места для ее перемещения.

Радиоволновое просвечивание можно проводить начиная с глубины, равной расстоянию между исследуемыми скважинами, так как верхняя часть скважин из-за большой величины обходного

сигнала из измерений выпадает. Отсюда следует, что в мелких скважинах проведение работ методом РП возможно только при достаточном малом расстоянии между ними. Однако надо помнить, что во избежание прямых наводок с кабеля на кабель предельно допустимое сближение кабелей приемника и передатчика должно быть не менее 30—50 м.

Опыт использования радиопросвечивания в различных геологических условиях показал, что применение аппаратуры СРП-6 в некоторых случаях ограничено. Эти ограничения обусловлены, во-первых, сравнительно узким рабочим диапазоном частот, во-вторых, невозможностью использования СРП-6 в односкважинном варианте. Большой диапазон частот позволяет расширить область применения метода, с одной стороны, на месторождениях, характеризующихся малыми размерами рудных тел, залегающих в сравнительно высокоомных вмещающих породах, а с другой — за счет увеличения дальности просвечивания в низкоомных породах.

Включение в комплект аппаратуры передатчиков с автономным питанием обеспечивает проведение радиопросвечивания в односкважинном варианте, что позволяет решать вопрос о размерах подсеченных скважинами рудных тел по результатам исследования только одной скважины, а также получать сведения, необходимые для интерпретации данных радиопросвечивания между скважинами.

Приведенный краткий обзор основных физико-химических свойств пород и руд, анализ влияния морфологии рудных тел и других факторов на полноту решения тех или иных разведочных задач с помощью скважинных геофизических методов и обзор некоторых технических условий их применения показывают, что возможность получения положительных результатов при использовании этих методов контролируется многими факторами. В то же время в пределах локальных структур, например на площади месторождения, круг контролирующих факторов, особенно для рассматриваемых типов месторождений, обычно ограничен и всегда имеется возможность установить полноту решения тех или иных задач разведки с помощью скважинных геофизических методов.

Здесь следует также отметить, что общим условием получения положительных результатов применения скважинных геофизических методов является тесная связь в пространстве между сульфидной минерализацией и распределением в рудах полезного компонента. Эти методы позволяют в первую очередь изучать геометрию сульфидной минерализации в пространстве, но не судить о распределении в ней полезных компонентов. В рассматриваемых в настоящем руководстве типах месторождений выполнение этого условия наиболее важно для сульфидно-касситеритовых месторождений, поскольку полезный компонент в них — олово — не входит в состав сульфидных минералов.

Глава III. Решение задач поисково-разведочной стадии

В настоящей главе рассматриваются задачи, решение которых непосредственно предшествует началу предварительной разведки месторождений. Общая задача оценки рудных районов и месторождений на поисково-разведочной стадии разделяется на несколько более мелких. Из их числа здесь рассматриваются только те, для решения которых предлагаются в дополнение к известным мало применяющиеся в практике геологоразведочных работ новые методы. Поэтому такие важные вопросы, как использование металлометрической съемки, гидрохимических и ряда геофизических методов изучения поверхности месторождений для общей оценки последних, не разбираются вовсе. Имеющиеся инструкции и специальные работы позволяют широко использовать эти методы на практике.

Ниже рассматриваются три отдельные последовательные оценочные задачи.

1. Оценка потенциальной рудоносности площадей с использованием некоторых основных закономерностей термодинамики, теории деформации горных пород и математической статистики.

2. Ориентировочная оценка масштабов (размеров) месторождений с применением новых вариантов электроразведочных методов и изучением первичных ореолов.

3. Оценка металлического состава месторождения на основе геоэлектрохимических методов.

Решение этих трех задач позволит целенаправленно провести поисково-разведочные работы и с наименьшими затратами и наибольшей достоверностью выбрать объекты для предварительной разведки. Предполагается, что методика решений этих задач, безусловно, будет уточняться и совершенствоваться с накоплением практического опыта.

§ 1. ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РУДОНОСНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ

Теоретические основы оценки потенциальной рудоносности площадей и рудных районов с использованием законов термодинамики рассмотрены Н. И. Сафроновым и Д. Н. Сафроновым [1964,

1966, 1967]. В их работах приводятся выводы уравнений зависимости запасов руды от содержания рудных элементов в ней и длины рудных тел. В общем виде первое из этих уравнений имеет вид

$$P_k = \frac{\frac{P_0}{K}}{e^{\alpha(K-1)^n}},$$

где P_k — запасы металла; K — содержание рудного элемента в условных единицах; P_0 — запасы металла при содержании его в рудах, равном единице; α и n — коэффициенты, характеризующие особенности распределения руд различных металлов.

Например, для кварцево-касситеритовых руд такое уравнение выглядит следующим образом:

$$P_k = \frac{\frac{13\,370}{K}}{e^{0,029(K-1)^{0,5}}}.$$

Сходные значения коэффициентов входят в уравнение зависимости запасов медных руд от содержаний меди

$$P_k = \frac{\frac{1476}{K}}{e^{0,125(K-1)^{0,45}}}.$$

Уравнение зависимости объемных запасов руды от длины рудных тел в общем виде может быть записано так:

$$\frac{\Sigma V_n}{\Sigma V_{n-1}} = \left(\frac{L_n}{L_{n-1}} \right)^\beta,$$

где ΣU_n , ΣU_{n-1} — объемные запасы руды в двух различных рудных телах; L_n , L_{n-1} — длины рудных тел; β — коэффициент, характеризующий распределение запасов в различных геологических условиях, значение его $1 \leq \beta \leq 2$.

Оценка потенциальной рудоносности площадей ведется путем сравнения теоретического, рассчитанного по приведенным формулам, и фактического распределений запасов. Рис. 3 характеризует принципиальную схему оценки рудоносности района. Заштрихованная часть соответствует не выявленным еще запасам руды. На рис. 4 приведен практический пример оценки одного из оловорудных районов по второму из уравнений. В этом случае обобщен фактический материал по 64 рудным объектам турмалиново-касситеритового типа. Все известные рудные тела группировались по классам их длины и для каждого класса вычислялись фактические суммарные объемные запасы руды. Затем строились графики зависимости объемных запасов от длины рудных тел. На эти же графики наносились теоретические кривые распределения, рас-

считанные по приведенной выше формуле и совмещенные по высшей точке фактического распределения (по классу длины 200—300 м). В рассматриваемом случае для фактического распределения коэффициент β может быть принят равным 2.

Сравнение теоретического и фактического распределений свидетельствует, что район имеет еще значительные перспективы обнаружения новых запасов руды (порядка 30% общих запасов), но в рудных телах средних и мелких размеров.

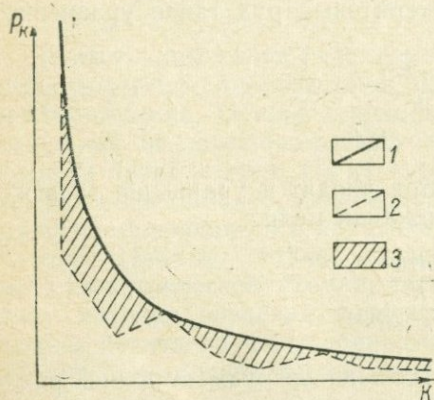


Рис. 3. Зависимость запасов от содержания металлов в рудах.

Кривые распределения запасов руды: 1 — теоретическая, 2 — фактическая, 3 — минимальные перспективные запасы.

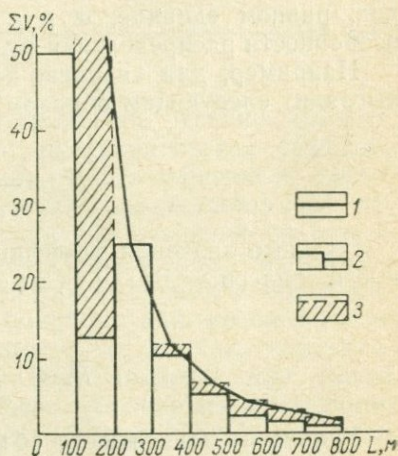


Рис. 4. Распределение объемных запасов руды в зависимости от длины рудных тел для одного из оловорудных районов Дальнего Востока (по В. Н. Гагаеву).

1 — теоретическая кривая распределения запасов; запасы: 2 — установленные, 3 — минимальные перспективные.

Рассмотренные выше данные позволяют наметить общую методику оценки рудоносности перспективных площадей.

1. Для однотипных месторождений и рудопроявлений изучаемой территории рассчитываются теоретические кривые распределения запасов в зависимости от содержания.

Если месторождения рассматриваемого типа являются полиметаллическими, то расчет ведется на содержания условного металла, затраты энергии на образование которого равны суммарной затрате энергии на все полезные компоненты месторождения. Указанными расчетами, например, устанавливаются следующие эквиваленты: 4 г/т золота 850-й пробы в золото-кварцевой руде эквиваленты по затратам энергии на образование 1,6% свинца в галенито-кварцевой руде или 4,2% цинка в сфалерито-кварцевой руде или 0,25% олова в касситеритово-кварцевой руде.

2. Строятся фактические гистограммы распределения запасов по классам содержания и объемных запасов по классам длины рудных тел.

Для вычисления коэффициентов какие-либо две точки фактической гистограммы принимаются совпадающими с точками теоретической кривой. Значения коэффициентов находятся путем решения системы двух уравнений со значениями запасов и содержания в этих двух точках относительно двух неизвестных коэффициентов.

3. Через высшую точку графиков фактического распределения проводится теоретическая кривая. Площадь между кривой и графиком фактического распределения соответствует не обнаруженным еще запасам определенных кондиций и длины рудных тел, а также числу необнаруженных месторождений.

По мере накопления новых данных о запасах на изучаемой площади описанную операцию следует повторять, а затем при необходимости выполнять периодически. Каждая указанная оценка по точности соответствует степени изученности территории на момент ее проведения.

§ 2. ОРИЕНТИРОВОЧНАЯ ОЦЕНКА МАСШТАБОВ (РАЗМЕРОВ) МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В ориентировочную оценку месторождения входит в первую очередь определение положения и размеров главных рудных тел, выявленных в процессе поисковых работ. Сама задача ориентировочной оценки размеров главных рудных тел для решения вопроса о целесообразности проведения на месторождении предварительной разведки распадается на ряд отдельных частных задач, из числа которых рассматриваются:

а) ориентировочное определение простирания главных рудных тел и их длины по простиранию;

б) ориентировочное определение падения рудных тел и протяженности их по падению;

в) ориентировочное установление склонения рудных тел и протяженности оруденения по склонению.

Решение этих вопросов позволяет установить ориентировочный контур главных рудных тел и, приняв мощность равной установленной по отдельным пересечениям, например по поверхности или по картировочным скважинам, подсчитать их геологические запасы.

Ориентировочное определение простирания главных рудных тел и их длины по простиранию

Для решения этой задачи чаще всего применяют методы заряда или вызванной поляризации. В простейших случаях, когда руды обладают высокой электрической проводимостью и отсутствуют мешающие факторы (мощные обводненные проводящие наносы, зоны трещиноватости и рассланцевания, углистые и гра-

фитизированные породы), для прослеживания рудного тела по простиранью достаточно применять метод заряда. Работы производятся в масштабе 1 : 10 000—1 : 5000 по сети профилей, ориентированных примерно вкост простиранья структур участка, по сети 100×50 или 100×20 м, установками потенциала или градиента потенциала по общепринятой методике [Справочник геофизика, т. III, 1963] с заземлением питающего электрода в имеющиеся

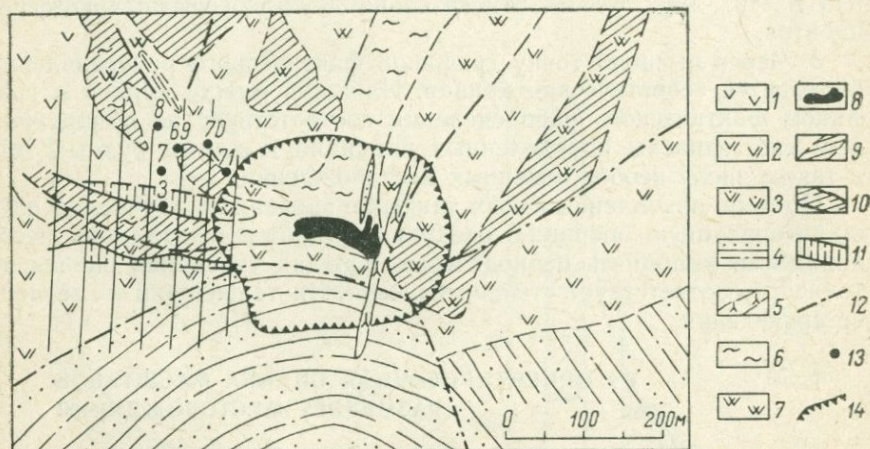


Рис. 5. Геологическая карта золото-сульфидного месторождения с результатами геофизических работ (по М. А. Черфасу, В. А. Шафаренко).

1 — серые порфиры; 2 — лиловые порфиры; 3 — туфы порфиров; 4 — песчаники, конгломераты, яшмы; 5 — дайки снитит-порфиров; 6 — зона гидротермально измененных пород; 7 — баритизация; 8 — рудное тело; 9 — зоны расщелачивания; 10 — зона повышенной электрической проводимости; 11 — аномалия естественного электрического поля; 12 — тектонические нарушения; 13 — буровые скважины; 14 — карьер.

рудное подсечение в скважине или горной выработке. Иногда для большей достоверности измерения методом заряда дополняются данными других методов.

Примером такого вида работ могут служить исследования на одном из месторождений Центрального Казахстана. Здесь золото-барит-сульфидное месторождение приурочено к области пересечения двух мощных зон расщелачивания пород. Район месторождения сложен вулканогенно-осадочными породами кембрийского и ордовикского возраста: порфирами, туфами, песчаниками и другими породами (рис. 5). На разведанной части месторождения было вскрыто трубообразное тело с меняющейся мощностью и многими ответвлениями. Верхние части тела выполнены баритом с небольшим содержанием галенита, сфалерита; нижняя часть богаче пиритом, халькопиритом, галенитом, сфалеритом. Наиболее важные компоненты в рудах — золото и серебро.

Предполагалось, что рудоконтролирующей структурой является контакт порфиров и кварц-серицитовых сланцев, вдоль которого прослеживается баритизация пород. Однако скв. 69, 70 и 71, заданные в области этого контакта на предполагавшемся простираньи месторождения, оруденения не встретили. Анализом проб из керна этих скважин установлено, что содержания большинства элементов-индикаторов оруденения (олова, сурьмы, серебра, мышьяка, свинца и цинка) во вмещающих породах близки к кларковым, а отдельные точки с повышенными содержаниями приурочены к маломощным пиритизиро-

ванным зонам в порфиритах. Эти данные позволили считать, что в околоскважинном пространстве в области указанного контакта отсутствуют крупные сульфидные скопления.

Была поставлена задача выявить простираание рудного тела с помощью геофизических методов. Решение этой задачи осуществлялось методом естественного электрического поля в наземном варианте и методом заряда по профилям по сети 50×20 м. Результаты исследований приведены на рис. 5.

Аномалия естественного электрического поля (область минимума интенсивностью до 50 мВ) пространственно совпадает с аномалией проводимости. Большая ширина аномалии (до 200 м) позволяет предполагать наличие на участке значительного по размерам сульфидного объекта. Скв. 3 и 7, заданными для проверки геофизических аномалий, было вскрыто барит-полиметаллическое оруденение с промышленными содержаниями золота.

Размеры месторождения по простираанию можно оценить по длине выявленной аномальной зоны, по месту максимальных градиентов потенциала или сгущению изолиний потенциала над концами проводника. В тех случаях, когда руды имеют вкрапленную текстуру и не отличаются по проводимости от вмещающих пород или когда надо проверить природу аномалии проводимости, для прослеживания вскрытого объекта разведки по простираанию применяется метод вызванного поляризации (ВП) в модификации заряда (вариант скважина — поверхность).

В качестве примера применения метода заряда ВП для прослеживания зоны вкрапленных руд по простираанию можно привести работы И. И. Попова (1965) на полиметаллическом месторождении в Узбекистане.

На месторождении бурением было выявлено несколько рудных тел, простираание которых предполагалось северо-западным. Рудные тела, пласты песчаников, алевролитов и тектонические нарушения характеризуются примерно одинаковым удельным электрическим сопротивлением, в результате чего все эти образования отмечаются однотипными аномалиями проводимости.

Благодаря высокой поляризуемости руд методом ВП удалось установить широтное простираание зоны рудной минерализации и проследить ее на восток более чем на 300 м. Скв. 1446 (рис. 6), заданная для проверки аномалии ВП, вскрыла промышленные полиметаллические руды.

В условиях, когда углы падения рудных тел невелики (от 0 до 15°), определить простираание геофизическими методами иногда затруднительно. В таких случаях методы заряда на постоянном токе или заряда ВП выявляют ориентировочно общий контур распространения оруденения.

Методика таких работ заключается в следующем. Прослеживаются по площади (по линиям профилей, в масштабе 1 : 10 000—1 : 2000) потенциалы электрического поля или аномальные потенциалы ВП и строится план изолиний указанных величин. При этом источник тока помещают в рудное подсечение одной из скважин, вскрывших оруденение.

Примером применения такой методики могут служить работы на колчеданно-полиметаллическом месторождении Южного Урала.

Месторождение обнаружено наземными работами методами ВП и металлометрии на участке распространения зеленокаменных пород, закрытом рыхлыми образованиями мощностью от единицы до 20 м. Для проверки аномалий ВП, обнаруженных при наземной съемке, были заданы скв. 2 и 6 в центральной части аномалии и скв. 1 и 3 в ее краевых частях (рис. 7). Первые две скважины

вскрыли интервалы с промышленным оруденением, две последние — рассеянную пиритовую минерализацию и отдельные небольшие пропластки медных руд. Сква. 4 и 7, заданные в нормальном поле съемки ВП, минерализации не встретили.

Как показали каротажные исследования, медно-цинковые руды месторождения в ряде подсечений не обладали высокой проводимостью. Для того, чтобы уточнить положение наиболее перспективной части обнаруженного месторождения, был применен метод ВП в варианте заряда. Питающий электрод поместили

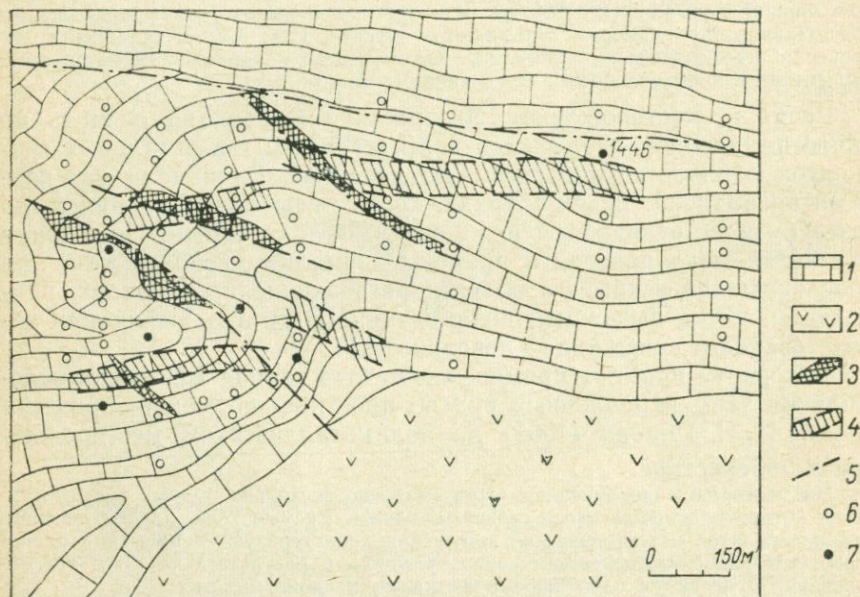


Рис. 6. Результаты наблюдений по методу ВП на полиметаллическом месторождении в Узбекистане (по материалам И. И. Попова).

1 — известняки; 2 — туфы; проекция: 3 — рудных тел по данным бурения, 4 — верхних кромок рудных зон по результатам съемки методом ВП; 5 — тектонические нарушения; 6 — буровые, 7 — пробуренные по геофизическим данным и встретившие полиметаллическое оруденение.

в скв. 2 на глубину 40 м в метровый пропласток с рассеянной пирит-халькопиритовой минерализацией, измерения проводились по поверхности земли.

Результаты наблюдений представлены на рис. 7 в виде плана изолиний потенциала постоянного электрического поля и изолиний кажущейся поляризуемости. Изолинии потенциала имеют форму почти правильных окружностей с центром в точке заряда. Подобное распределение изолиний дает основание считать, что этим методом оруденение не фиксируется, что согласуется со сделанным ранее наблюдением о невысокой проводимости руд. На плане изолиний кажущейся поляризуемости фиксируются две аномальные зоны. Первая аномальная зона интенсивностью до 6,9% располагается вокруг скв. 2 и объясняется, по-видимому, вскрытым этой скважиной оруденением. Вторая аномальная зона интенсивностью до 7,5% располагается к юго-востоку от скв. 2. На северном ее фланге находились скв. 1, 6 и 9; две последние к моменту завершения работ методом ВП вскрыли промышленные руды. По этим данным было сделано предположение, что общий контур месторождения примерно соответствует положению изолиний кажущейся поляризуемости 6%. Сква. 14, 15, 16, 17, 26, 34, 36 и 37, заданные позднее в пределах рекомендованного контура, вскрыли про-

мышленные руды, а скв. 8, 18, 27, 28, 29, 33 и 41, пробуренные вне этого контура, оруденения не встретили.

Верхняя часть рудного тела была околонтурена мелкими скважинами. Скв. 3377-К, пройденная в аномальном контуре, также встретила промышленную руду, а скв. 3378-К и 3354-К, пройденные вне контура, были безрудными.

В пределах рассматриваемого месторождения обнаружены и выделены многие рудные тела, отличающиеся составом, текстурой руд и положением в разрезе (рис. 8). Однако, как показывает приведенный пример, общие контуры месторождения установлены методом ВП достаточно надежно для организации

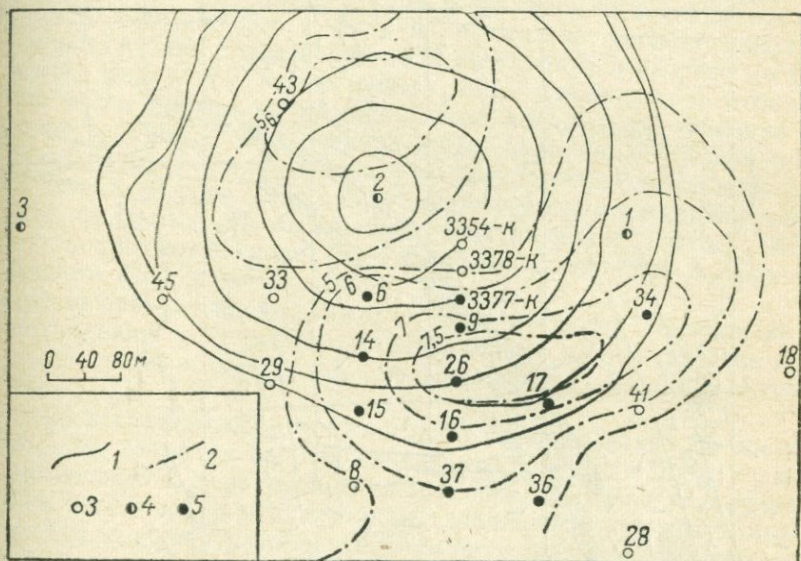


Рис. 7. План изолиний потенциала электрического поля и кажущейся поляризуемости для метода заряда ВП. Южный Урал (по О. М. Шаповалову).

Изолинии: 1 — потенциала электрического поля, 2 — кажущейся поляризуемости; скважины: 3 — безрудные, 4 — с вкрапленной минерализацией и отдельными рудными пропластками, 5 — рудные. Точка заряда — в скв. 2 на глубине 40 м.

последующей буровой проверки их, что и позволило провести предварительную разведку месторождения со сравнительно небольшим числом законтурных скважин.

Ориентировочное определение падения рудных тел и протяженности оруденения на глубину

Направление падения пород и рудных тел обычно известно из геологических данных еще до начала бурения на участке. Если же оно не известно, то для случая слоистых сред, обладающих электрической анизотропией, можно предложить следующий способ определения направления падения пород при наличии одной скважины. В скважине проводится токовый картаж, и в наиболее проводящий пропласток пород помещается источник тока. На по-

верхности земли по профилю, перпендикулярному к простиранию пород, измеряются потенциал или градиент потенциала точечного источника тока и по смещению максимума потенциала (или нуля градиента) от точки проекции на поверхность источника тока определяется направление падения пород.

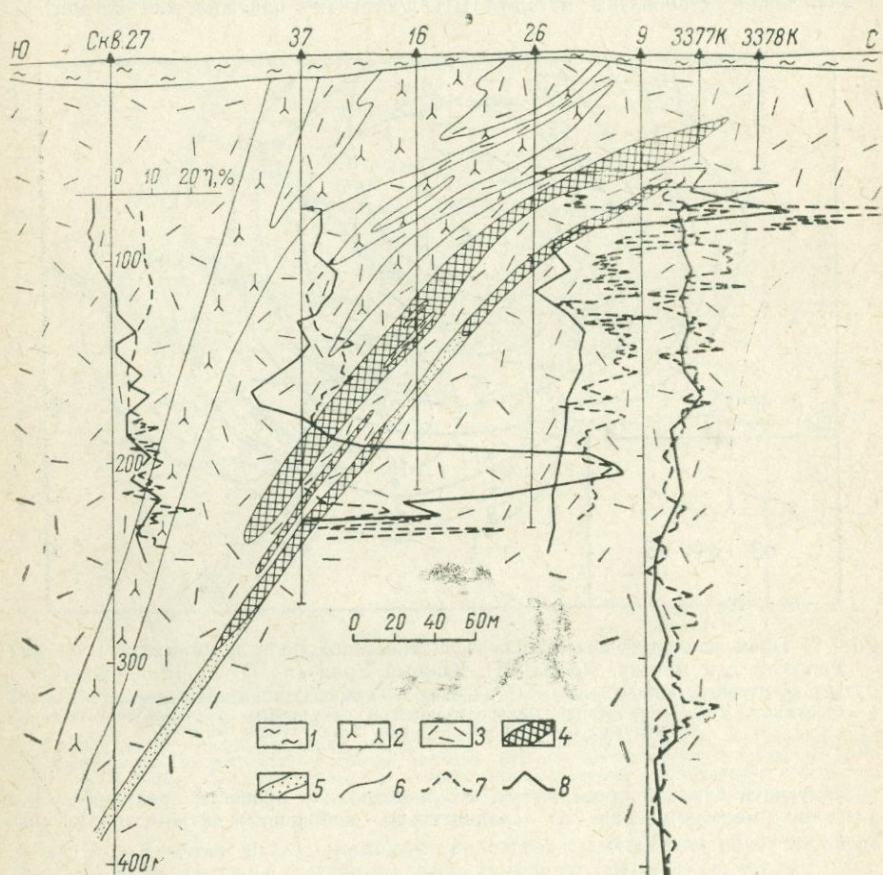


Рис. 8. Геологический разрез по одному из месторождений Южного Урала (по О. М. Шаповалову).

1 — рыхлые отложения; 2 — диабазы, габбро-диабазы, дациты; 3 — туфы альбитофиров, диабазов; 4 — медно-цинковые руды; 5 — густая вкрапленность пирита; 6 — геологические границы; 7 — графики кажущейся поляризуемости для трехэлектродной установки; 8 — графики кажущейся поляризуемости для установки вертикального градиента.

Если скважиной встречено оруденение, можно установить его угол падения, зная глубину и место проекции подсечения на поверхность земли (Родионов, 1959). Для этого выход оруденения прослеживается методом заряда. Обозначая координату и отметку выхода на профиле скважины соответственно X_B и H_B , а координату

нату и отметку подсечения соответственно X_{Π} и H_{Π} , найдем, что угол падения

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{X_{\text{в}} - X_{\Pi}}{H_{\text{в}} - H_{\Pi}}.$$

Для оценки распространения оруденения на глубину привлекается скважинный вариант метода естественного электрического поля (ЕП). Возможность суждения о глубине распространения оруденения связана с изменением ЕП на глубину в разрезе месторождения. В верхней части рудной зоны наблюдаются отрицательные поля, причем максимальные по абсолютной величине — на уровне верхней кромки неокисленных (первичных) сульфидных руд. Нижняя граница оруденения (в данном или ближайших соседних сечениях) совпадает по глубине с участками распространения максимальных положительных полей [Рысс, Тясто, 1966]. Ниже положительное поле постепенно приближается к уровню нормального (условно — нулевого).

Хорошее подтверждение такому теоретическому обоснованию распространения естественного электрического поля в разрезе получено на полиметаллическом месторождении Рудного Алтая (рис. 9).

Однако встречаются случаи, когда глубины разведки не достигают области развития положительного экстремума поля и в разрезе наблюдаются лишь отрицательные поля или еще не прекратившийся рост поля от отрицательных значений к положительным. В этом случае оценка распространения оруденения на глубину может быть сделана лишь ориентировочно, если принять, что отрицательное поле обычно охватывает одну третью — одну пятую часть протяженности по глубине рудных зон в разрезе.

Примером, когда на месторождении глубины разведки таковы, что в скважинах установлены лишь отрицательные поля, может служить одно из наиболее крупных месторождений Рудного Алтая (Семенов, Калашников, 1967). При изучении ЕП в скважинах на месторождении (рис. 10) установлено, что первое, второе и третье известные к этому моменту рудные тела лежат в пределах отрицательных полей, распространяющихся до глубины 700—800 м. Только в нижней части третьего тела намечился переход к положительным полям. Это дало основание считать, что ниже достигнутых глубин по падению в рудолокализирующей структуре должна располагаться положительная часть электрического диполя, приуроченная к еще не вскрытой части месторождения. Этот вывод подтвержден последующим бурением, в результате которого было вскрыто четвертое рудное тело.

Ориентировочное определение направления и угла склонения рудных тел и протяженности оруденения по направлению склонения

Если по указанной выше методике изучено распределение ЕП в плоскости падения рудной зоны (или в продольном вертикальном разрезе его), то по положению экстремумов поля и соединяющей их оси можно определить направление и угол склонения рудной зоны и места выходов основных ее частей на поверхность

земли. Основанием к этому является установленное для плитообразных рудных зон расположение оси диполя в плоскости их падения и ее наклон в сторону склонения (Семенов, Калашников, 1967). По имеющимся сведениям и в продольных разрезах на долю отрицательных электрических полей приходится одна третья —

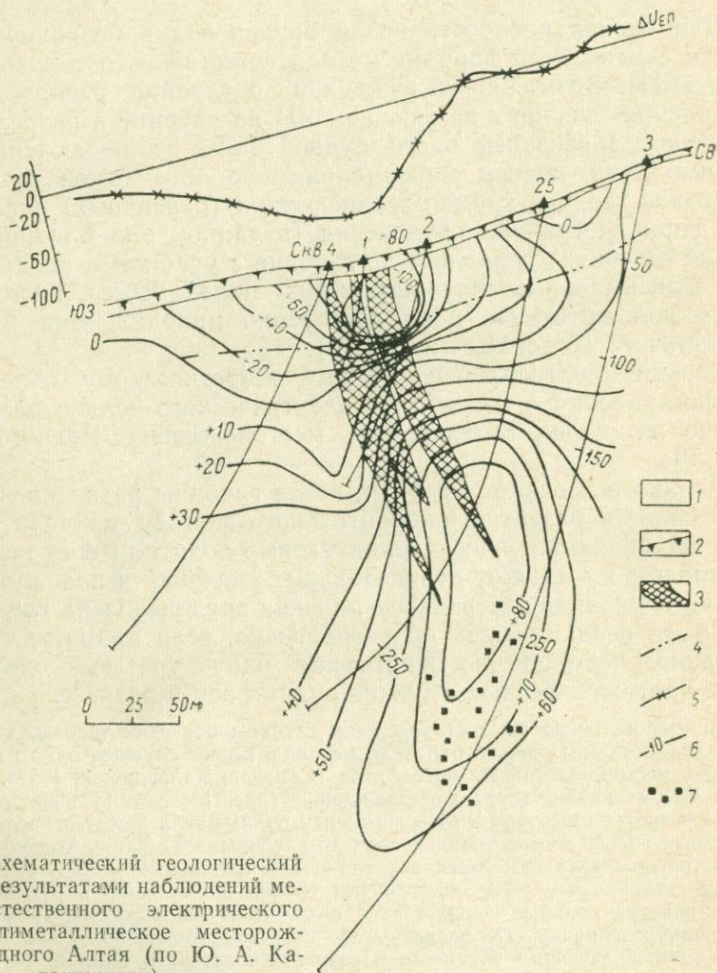


Рис. 9. Схематический геологический разрез с результатами наблюдений методом естественного электрического поля, полиметаллическое месторождение Рудного Алтая (по Ю. А. Калашникову).

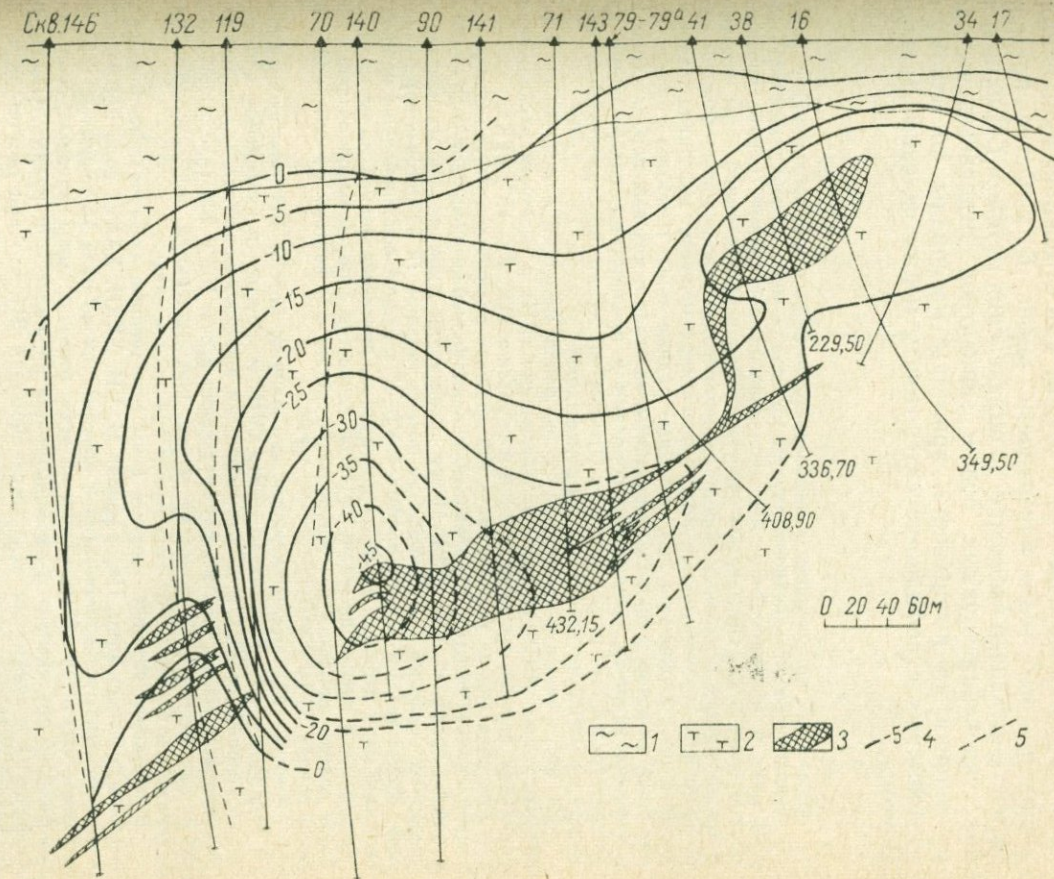
1 — осадочно-эффузивные толщи; 2 — рыхлые отложения; 3 — массивные сульфидные руды; 4 — граница зоны окисления; 5 — кривая потенциала естественного электрического поля (наземная съемка); 6 — изолинии потенциала ЕП; 7 — вкрапленная сульфидная минерализация.

одна пятая часть общей длины рудной зоны по склонению, что позволяет проводить ориентировочную оценку размеров ее на глубину.

По-видимому, эпицентры отрицательного поля располагаются в области выхода средних осевых линий в фигуре лентовидных тел (большой оси эллипсоидов) на поверхность земли. Это свой-

Рис. 10. Результаты наблюдений методом естественного электрического поля на нулевом профиле одного из месторождений Рудного Алтая (по А. С. Тясто и Ю. А. Калашникову).

1 — рыхлые отложения; 2 — эффузивно-осадочная толща; 3 — полиметаллические руды, маслиметаллические руды, массивные и прожилково-вкрапленные; 4 — изолинии естественного электрического поля; 5 — графики потенциала естественного электрического поля $\Delta U_{\text{ЕП}}$.



ство поля широко известно и служит для отыскания мест приближения рудных тел к поверхности земли. В качестве примера, иллюстрирующего возможность определения методом ЕП направления склонения рудных зон и эпицентров отдельных выходов оруденения на поверхность, приведем материалы по одному из лентовидных сульфидно-касситеритовых месторождений Дальнего Востока.

Одно из крупнейших и наиболее разведанных месторождений в районе представляет собой линейновытянутую крутопадающую минерализованную зону дробления и трещиноватости меридионального простирания, общей протяженностью более 9 км. Оруденелые участки этой минерализованной зоны находятся в толще юрских осадочных пород, дислоцированных в линейные складки северо-восточного простирания, и пологозалегающих меловых эффузивно-осадочных пород и рассматриваются как отдельные рудные зоны. Наиболее крупная рудная зона, на которой проводились работы, залегает в меловых породах (рис. 11) и сложена кварц-турмалиновыми породами и пропилитами, содержащими касситерит, сульфиды и вольфрамит. Отмечается тесная пространственная связь между скоплениями касситерита и сульфидов.

На месторождении проведены исследования методами естественного электрического поля (ЕП), вызванной поляризации (ВП) в наземном и скважинном вариантах, заряда, магниторазведки и каротажа (ТК, ГК, ПС, ГГК).

Как показано на рис. 11, часть разведанных рудных зон отмечается при наземной съемке методом ЕП отрицательной аномалией интенсивностью до -160 мв в районе профилей XIV—XVI. Менее интенсивная аномалия протягивается от указанных профилей к северо-западу по простиранию (и по склонению) рудного тела. Кроме того, в районе профилей VI—X западнее основной зоны наблюдается еще один отрицательный эпицентр поля, протягивающийся далее к северо-западу, где в районе профиля XVIII он сливается с полем основной зоны. Еще более слабая аномалия ЕП наблюдается также и к востоку от основной зоны на профилях XXIV—XXVIII.

Аномалии ЕП подтверждаются аномалиями метода ВП при наблюдениях по скважинам на профилях VI, XVI, XVIII и других и наземными наблюдениями на профиле XVI, а также наземными аномалиями метода заряда при размещении источников тока в зоне оруденения в скв. 107 и 205 (рис. 11). Так же как и для метода ЕП, аномалии заряда прослеживаются над основными разведанными и боковыми ответвлениями рудоносной зоны.

В плоскости падения основной зоны естественные электрические поля установлены не повсеместно. На профилях II, VII, XXXII, XXXVI поля ЕП по скважинам сохраняются постоянными и низкими (около нуля) с точностью ± 10 мв, что свидетельствует об отсутствии на этих отрезках зоны крупных скоплений сульфидного оруденения со сплошными или прожилковыми рудами. Однако на профиле VI в скважинах отмечается аномалия ВП, что при отсутствии ее на профиле XXXII дает основание разделить эти участки на несущие и ненесущие сульфидную вкрапленную минерализацию.

Иной характер ЕП наблюдается в скважинах на профилях X—XXV. В поперечных разрезах здесь отмечаются отрицательные поля в верхних частях зоны и положительные — в нижних (рис. 11), т. е. нормальная картина распределения ЕП в разрезах. При этом в продольном разрезе месторождения эпицентры отрицательного поля смещены к югу относительно эпицентров положительного поля, что находится в полном соответствии с ранее установленным северным склонением рудных тел месторождения. Один из отрицательных эпицентров ЕП расположен в области выхода северного рудного тела на поверхность. Судя по тому, что область отрицательных полей в продольном разрезе по склонению залежи ориентировочно распространяется на 250 м, можно по опыту месторождений Алтая ожидать протяженность сульфидной залежи на глубину по склонению до 750—1000 м, примерно в район профилей XVI—XXIII.

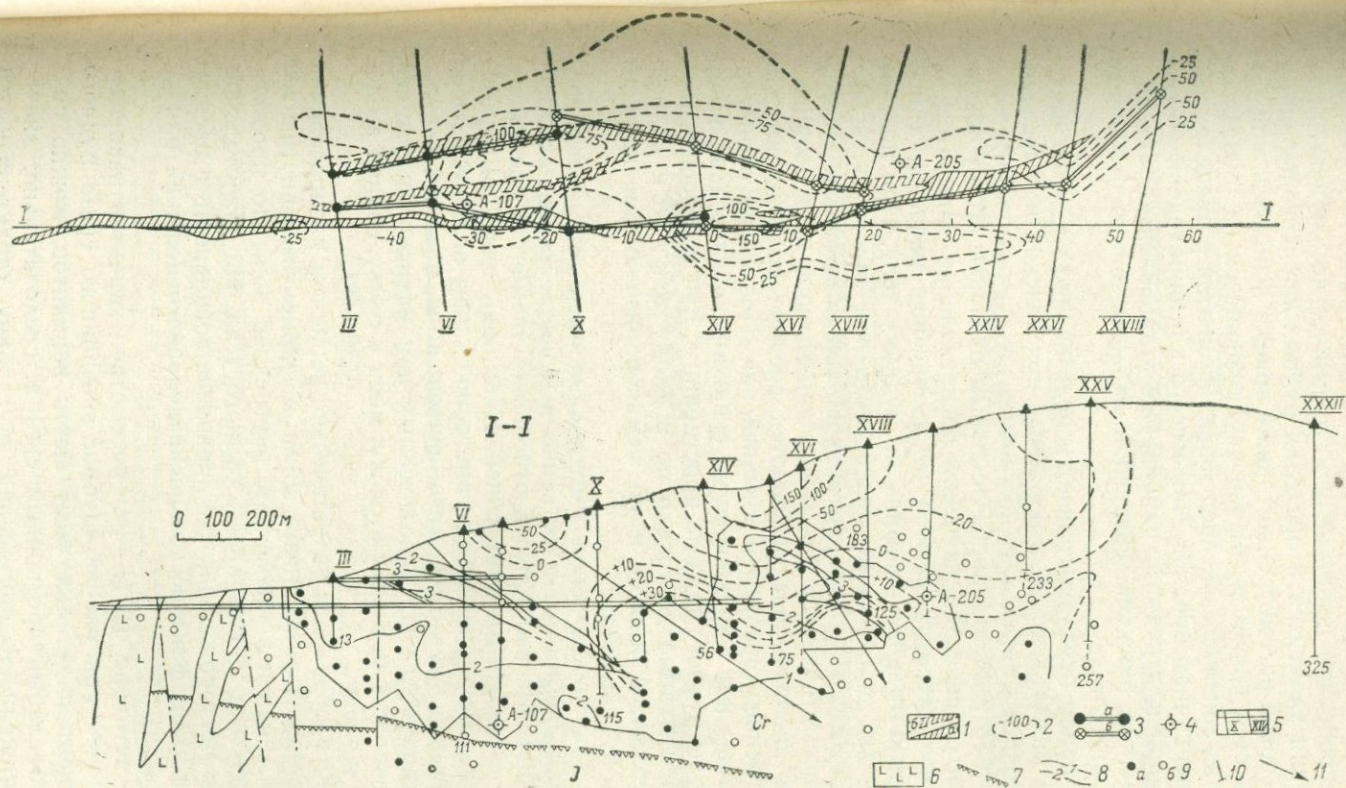


Рис. 11. Результаты геофизических работ на сульфидно-касситеритовом месторождении Дальнего Востока (геологическая основа по Ю. И. Бакулину).

1 — зоны пропилитизации (а — прослеженные каналами; б — предполагаемые по геофизическим данным); 2 — изолинии потенциала естественного электрического поля; 3 — аномальные оси метода заряда (а — заряд в скв. 107; б — заряд в скв. 205); 4 — проекции точек заряда; 5 — разведочные линии; 6 — субвулканы; 7 — граница меловых и юрских пород (меловые отложения Сг представлены средними и кислыми эффузивами и туфами, юрские J — песчаниками); 8 — изолинии содержания олова, усл. ед.; 9 — точки пересечения скважинами рудоносной зоны (а — с рудой; б — безрудные); 10 — скважины, по которым выполнены наблюдения по методу естественного электрического поля; 11 — оси диполей естественного электрического поля.

Для контроля результатов перечисленных выше геофизических работ целесообразно использовать геохимические закономерности распределения элементов в пределах рудных тел и их первичных ореолов. Основой рассмотренного ниже приема использования этих закономерностей является обычно наблюдающееся на рудных месторождениях зональное распределение элементов в пределах рудных тел и первичных ореолов. Чаще всего для определенного типа месторождений или рудного района уже установлен характерный набор элементов ближней, средней и дальней зон по отношению к центру рудного тела.

Данный прием предусматривает использование уже имеющихся результатов анализов проб, отобранных при поисках или на поисково-разведочной стадии, т. е. не требует никаких дополнительных затрат на отбор и анализ проб. Основным отличием его от обычно применяющихся способов изучения распределения элементов является то, что рассматриваются не поперечные разрезы, а продольный горизонтальный профиль по рудному телу. При построении продольного профиля по поверхности или горизонту, вскрытому скважинами, например картировочными, каждое сечение рудного тела рассматривается как точка, для которой по имеющимся результатам анализов рассчитываются средние содержания элементов внутренней, средней и внешней зон. Поскольку оконтуривающие каналы или картировочные скважины обязательно выходят за пределы рудного тела по простиранию, при построении профиля имеются данные не только по рудному телу, но и по первичным ореолам, а иногда и по неминерализованным породам на выклинке рудного тела.

Так как для оценки используются закономерности зонального распределения элементов, естественно в качестве основных показателей на профиле изображать отношения элементов внешней и средней зон к элементам внутренней. Например, для упомянутого оловорудного района элементами внутренней зоны являются олово и висмут, средней — мышьяк, медь, свинец, цинк, внешней — сурьма. В качестве основных используемых при оценке показателей выбраны отношения мышьяка к олову, меди к олову, свинца к олову и сурьмы к олову.

На рис. 12 изображены теоретические варианты распределения отношений элементов внешней зоны к элементам внутренней и элементов средней к элементам внутренней зоны по продольному профилю (по простиранию) рудного тела. На значительном числе рудных месторождений, где проявлена зональность в распределении элементов, фактическое распределение отношений близко к теоретическому.

В левой части рис. 12 (I—VI) рассмотрен характер распределения отношений при разной глубине эрозионного среза рудного тела. Не описывая детально всех шести вариантов, можно подчеркнуть, что слабый эрозионный срез и, следовательно, значительная протяженность оруденения на глубину характеризуются одним широким максимумом кривых распределения отношений.

средний эрозивный срез — двумя более узкими окаймляющими максимумами, глубокий — широким слабо выраженным минимумом значений отношений.

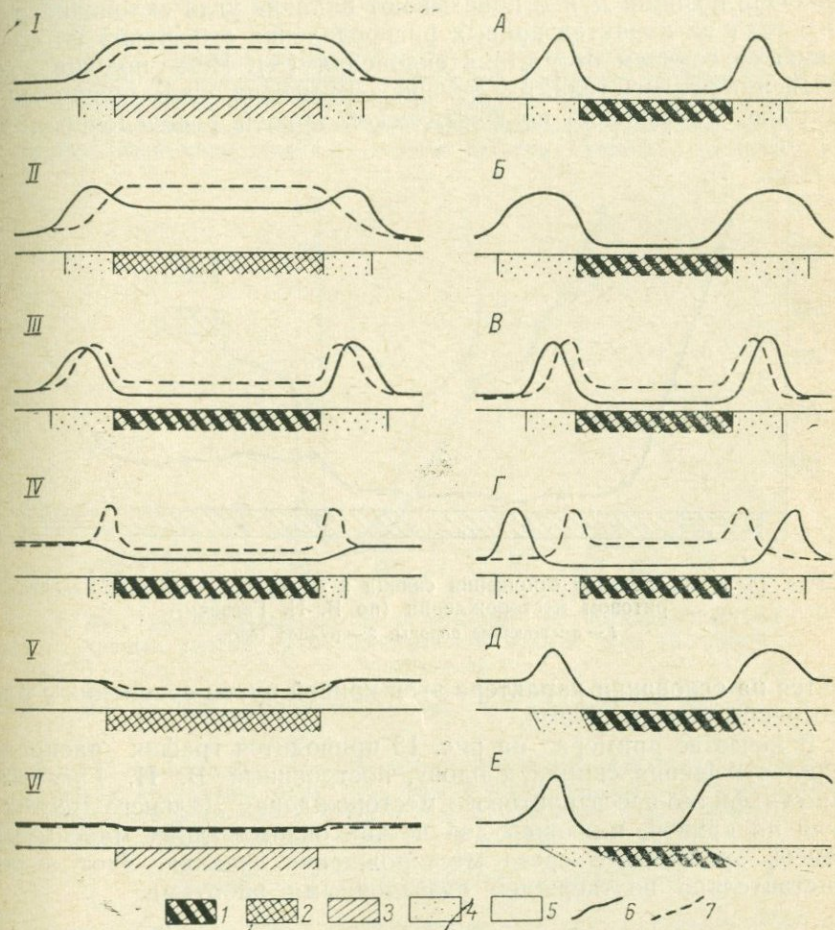


Рис. 12. Схематические графики распределения отношений элементов по простиранью рудного тела.

I—VI — профили, соответствующие разным глубинам эрозивного среза рудного тела; эрозивный срез: I—II — слабый, III—IV — средний, V—VI — глубокий.

A—Г — профили, соответствующие разным масштабам оруденения; рудное тело: А, В — небольшое, Б, Г — крупное; Д, Е — профили, соответствующие разным углам склонения рудного тела; угол склонения: Д — крутой, Е — пологий.

Руды: 1 — наиболее богатые промышленные, 2 — бедные промышленные, 3 — непромышленные; 4 — первичные ореолы; 5 — вмещающие породы; кривые распределения отношений элементов; 6 — внешней зоны к элементам внутренней, 7 — средней зоны к элементам внутренней.

В правой части рис. 12 изображены случаи, иллюстрирующие различия характера распределения отношений в зависимости от размера рудных тел и общей интенсивности оруденения (А—Г). Более широкие окаймляющие максимумы (Б) и более отогнанные

друг от друга окаймляющие максимумы по отношениям содержаний элементов внешней зоны к внутренней и средней зоны к внутренней (Γ) свидетельствуют о более крупных и богатых рудных телах, чем узкие и совмещенные окаймляющие максимумы (A и B). Наконец, позиции D и E показывают влияние угла склонения рудного тела на характер кривых распределения отношений по сравнению со случаем отсутствия склонения (A). Чем больше угол склонения рудного тела, тем больше асимметрия окаймляющих максимумов. Заключение по фактической кривой распределения де-

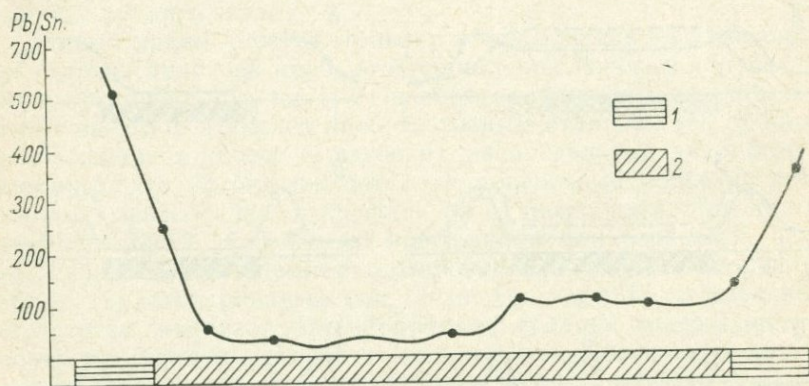


Рис. 13. Распределение отношения свинца к олову на сульфидно-касситеритовом месторождении (по В. Н. Гагаеву).
1 — вмещающие породы; 2 — рудное тело.

ляется на основании характера этой кривой путем сравнения с рассмотренными вариантами.

В качестве примера на рис. 13 приводится график распределения отношения свинца к олову, построенный В. Н. Гагаевым для сульфидно-касситеритового месторождения Дальнего Востока. Судя по кривой, имеющей два четких окаймляющих максимума, степень эрозионного среза месторождения средняя. Этот вывод действительно подтвержден разведочными работами.

§ 3. ОЦЕНКА МЕТАЛЬНОГО СОСТАВА МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В настоящем разделе рассматривается новый способ оценки усредненного минерального состава и частично размеров рудных тел за пределами выработок, вскрывающих эти рудные тела (канавы, одиночные неглубокие или картировочные скважины), т. е. оценки металлического состава и размеров рудных тел в их естественном залегании.

Способ основан на различии поляризационных характеристик различных сульфидов, являющихся следствием электрохимических процессов, протекающих на рудных телах различ-

ного минерального состава при воздействии на них электрического тока. Поскольку этот способ основан на использовании поляризационных кривых и требует прямого контакта с рудным телом, он получил название контактного способа поляризационных кривых (КСПК).

На рис. 14 приведен пример наблюдений первых анодных и катодных реакций на одном из медно-никелевых рудных тел Кольского полуострова. В рассматриваемом примере по потенциалам анодных и катодных реакций однозначно устанавливается пирротин-пентландит-халькопиритовый состав руд. Значение предельной силы тока двух первых катодных реакций составляет при-

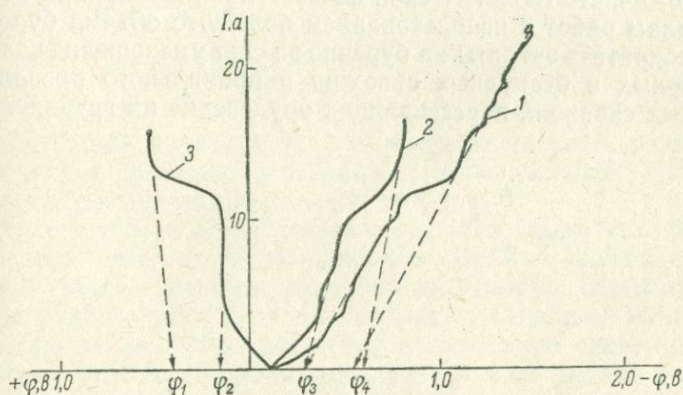


Рис. 14. Катодные (1, 2) и анодные (3) поляризационные кривые, снятые на медно-никелевом рудном теле (Кольский полуостров).

Потенциалы реакций, в: $\varphi_1 = \pm 0,40$ — пентландит; $\varphi_2 = +0,15$ — халькопирит; $\varphi_3 = -0,30$ — пентландит; $\varphi_4 = -(0,50 \pm 0,60)$ — халькопирит, пирротин.

мерно 12 а. Коэффициент перехода между величиной поверхности рудного тела и значением предельной силы тока первой катодной реакции на пентландите для содержания пентландита $\sim 5\%$ и суммы сульфидов $\sim 50\%$ равен $7775 \text{ м}^2/\text{а}$ [Рысс, 1969]. Отсюда величина поверхности рудного тела

$$S = KI = 7775 \cdot 12 = 93000 \approx 90000 \text{ м}^2.$$

Линейные размеры тела с такой поверхностью могут составлять ~ 200 м по простиранию и падению. По данным бурения рассматриваемое тело по падению превышает 180 м.

Результаты полевых экспериментов на рудных телах месторождений других генетических типов (Гульшад, Коунрад) дали результаты, также совпадающие с имеющимися представлениями о составе и размерах рудных тел [Рысс, 1969].

Определение минерального состава и размеров рудных тел с помощью поляризационных характеристик находится пока еще на ранней стадии развития. Однако результаты работ с аппаратурой КСПК позволяют надеяться на успешное применение особенностей физико-химических процессов, происходящих в рудных телах, для прямого определения состава геологических объектов

при поисках и разведке интересующих нас сульфидных месторождений.

Указанные задачи и предлагаемые нами способы их решения, а также задачи и способы, изложенные Р. Р. Зивертом и другими [1968], охватывают все основные вопросы поисково-разведочной стадии (от выбора участка для проведения этих работ до ориентировочного определения размера и состава главных рудных тел). Все это является основой подсчета геологических запасов или в отдельных случаях запасов категории C_2 и правильного выбора объектов для предварительной разведки. Применение рассмотренных методов вместо чисто геологической качественной оценки или оценки по материалам работ с использованием большого объема бурения позволит сократить затраты на бурение за счет уменьшения количества законтурных и безрудных скважин и правильного расположения отдельных скважин, пересекающих оруденение на глубине.

Глава IV. Использование скважинных геофизических и геохимических методов и многозабойного бурения для решения отдельных разведочных задач

В настоящей главе будут рассмотрены способы решения основных задач разведки сульфидных месторождений указанного выше типа при помощи комплекса методов.

В соответствии с особенностями руд этих типов месторождений и на основе аппаратуры, созданной в ВИТР и других организациях, разработан комплекс скважинных методов, обеспечивающий решение ряда важных разведочных задач. Основное место в комплексе (кроме геологических методов) занимают скважинные геофизические методы. Вспомогательное значение имеют геохимические методы, основанные на использовании закономерностей распределения в рудах и вмещающих породах элементов-индикаторов и примесей, и методы каротажа (в том числе ядерные).

Ниже рассматриваются возможности решения следующих разведочных задач.

1. Выявление рудоконтролирующих факторов.
2. Определение пространственного положения (элементов залегания), размеров, формы и деталей строения рудных тел.
3. Выявление в окоლოსкважинном пространстве слепых рудных тел.
4. Построение разведочных разрезов с помощью скважинных геофизических методов.

§ 1. ВЫЯВЛЕНИЕ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

Выявление геолого-структурных факторов, контролирующих локализацию руд месторождений, способствует более целенаправленному и экономичному проведению разведочных работ. Среди подобных факторов немаловажную роль могут играть отдельные литологические горизонты разреза или структурно-тектонические элементы. Выявление рудоконтролирующих горизонтов, а также структурно-тектонических элементов в плане в настоящее время производится с помощью геологических и геохимических методов, опирающихся на горные выработки и картировочные скважины, и наземных геофизических методов.

Рисовка этих образований в межскважинном пространстве посредством интерполяции опирается на документацию керна, каротажа и геолого-структурные представления и часто носит субъективный характер, что нередко приводит к ошибкам. Скважинные геофизические и геохимические методы позволяют значительно повысить надежность представления об объемном распределении структурно-тектонических элементов и отдельных литологических горизонтов в межскважинном пространстве.

Методика решения этих задач на разных типах сульфидных месторождений в принципе одинакова. Далее разобраны примеры, полученные по результатам работ на месторождениях, отличающихся по составу и морфологии от рассматриваемых в настоящем руководстве. Известны методы решения следующих частных задач:

а) уточнение геологического разреза по скважине;

б) определение литологических границ в блоках пород между скважинами;

в) выявление и прослеживание тектонических нарушений между скважинами и горными выработками и за пределами одиночных выработок;

г) выявление, прослеживание и оценка зон околорудных гидротермально измененных пород в плане и объеме.

Первая из перечисленных задач решается, как правило, методами каротажа, но иногда и с помощью скважинных геофизических методов. Для решения второй задачи привлекаются скважинные варианты электроразведки и наиболее часто метод радиопросвечивания. На третью задачу можно успешно дать ответ также скважинными вариантами электроразведки и с помощью изучения первичных ореолов рассеяния элементов. Последняя задача чаще всего решается методом вызванной поляризации или широким комплексом геофизических и геохимических методов.

Изучение в плане (на эрозионном срезе) структурно-тектонических элементов и литологических границ в пределах разведываемого участка производится, как правило, в зависимости от поставленной задачи в масштабах 1 : 25 000—1 : 10 000.

Для решения указанных задач широко привлекаются наземные геофизические методы: ВЭЗ, сейсморазведка, гравиразведка, магниторазведка и различные виды электрического профилирования (Федынский, 1964; Миков, 1966 и др.). Методика их применения достаточно полно освещена в литературе.

Уточнение геологического разреза по скважине

Для получения необходимых сведений о строении, составе и физических свойствах пород, вскрываемых скважинами, кроме геологической документации керна обязательными являются исследования методами каротажа. В табл. 5 приведены методы каротажа, используемые для решения рассматриваемой задачи, в табл. 6—возможные варианты их комплексного применения.

Методы каротажа

Название	Исследуемая величина	Решаемые задачи
Каротаж сопротивлений (КС)	Кажущееся удельное электрическое сопротивление пород	Литологическое расчленение пород по их электрическому сопротивлению
Метод скользящих контактов (МСК)	Электронная проводимость горных пород и руд	Выявление хорошо проводящих образований
Метод электродных потенциалов (МЭП)	Потенциал электрода M , скользящего по стенке скважины	Выделение электронных проводников, детализация рудных интервалов
Метод потенциала собственной поляризации (ПС)	Потенциал, самопроизвольно возникающий на границе породы с буровым раствором	Изучение литологических особенностей разреза и выделение электронных проводников по их потенциалу
Метод вызванной поляризации (ВП)	Вторичное электрическое поле, возникающее в горных породах после пропускания электрического тока	Выделение вкрапленных руд
Каротаж магнитной восприимчивости (КМВ)	Магнитная восприимчивость горных пород	Литологическое расчленение горных пород по магнитным свойствам, выделение в разрезе рудных интервалов, содержащих пирротин, магнетит
Гамма-каротаж (ГК)	Естественная радиоактивность горных пород	Литологическое расчленение горных пород разреза по их радиоактивным свойствам
Гамма-гамма-каротаж (ГГК):		
а) плотностной вариант (ГГК-П)	Интенсивность рассеянного гамма-излучения, которое находится в обратной зависимости от плотности	Литологическое расчленение пород, выделение в разрезе рудных интервалов
б) селективный вариант (ГГК-С)	Интенсивность рассеянного гамма-излучения, которая находится в обратной зависимости от эффективного атомного номера элемента, т. е. содержания элементов с высокими атомными номерами	Выделение в разрезе рудных интервалов, определение суммарного содержания металлов с высоким атомным номером, определение содержания в рудах свинца

Название	Исследуемая величина	Решаемые задачи
Нейтронный гамма-каротаж (НГК)	Измерение интенсивности гамма-излучения при радиационном захвате нейтронов атомами ядра	Литологическое расчленение пород по параметру пористости
Рентгено-радиометрический каротаж (РПК)	Измерение характеристического рентгеновского излучения элементов	Выделение в разрезе рудных интервалов и определение содержания металлов в рудах, в том числе свинца
Каротаж наведенной активности (КНА)	Измерение интенсивности гамма-излучения после облучения пород потоком нейтронов	Определение содержания меди

Таблица 6

Решение геологических задач с помощью методов каротажа

Решаемые задачи	Методы решения
Литологическое расчленение пород, слагающих стенки скважины	Применяются КС и ГК; в случае различия пород по плотности — ГГК-П, по пористости — НГК (особенно для выделения карбонатных пород); при различной магнитной восприимчивости — КМВ
Выделение в разрезе зон окварцевания	Метод ГК
Выделение зон дробления	Если зона имеет пониженное электрическое сопротивление по сравнению с ненарушенными породами применяется КС; если зона обладает коллекторскими свойствами, применяется ПС; при пониженной плотности зоны — ГГК-П
Выделение массивных сульфидных руд	Для точного определения границ рудного подсечения и исследования его внутреннего строения используется МЭП; для получения более обобщенных данных можно использовать МСК
Выделение вкрапленных сульфидных руд	Используется МЭП; в случае бедной вкрапленности — ВП
Разделение углистых образований от зон сульфидной минерализации	Применяются ГГК-П и ГГК-С, на диаграммах которых сульфидные руды характеризуются минимумами $J_{\gamma T}$, что в интервалах углистых пород не наблюдается

Ниже будут приведены примеры, иллюстрирующие возможность использования комплекса каротажных методов при литологическом расчленении разреза на сульфидных месторождениях.

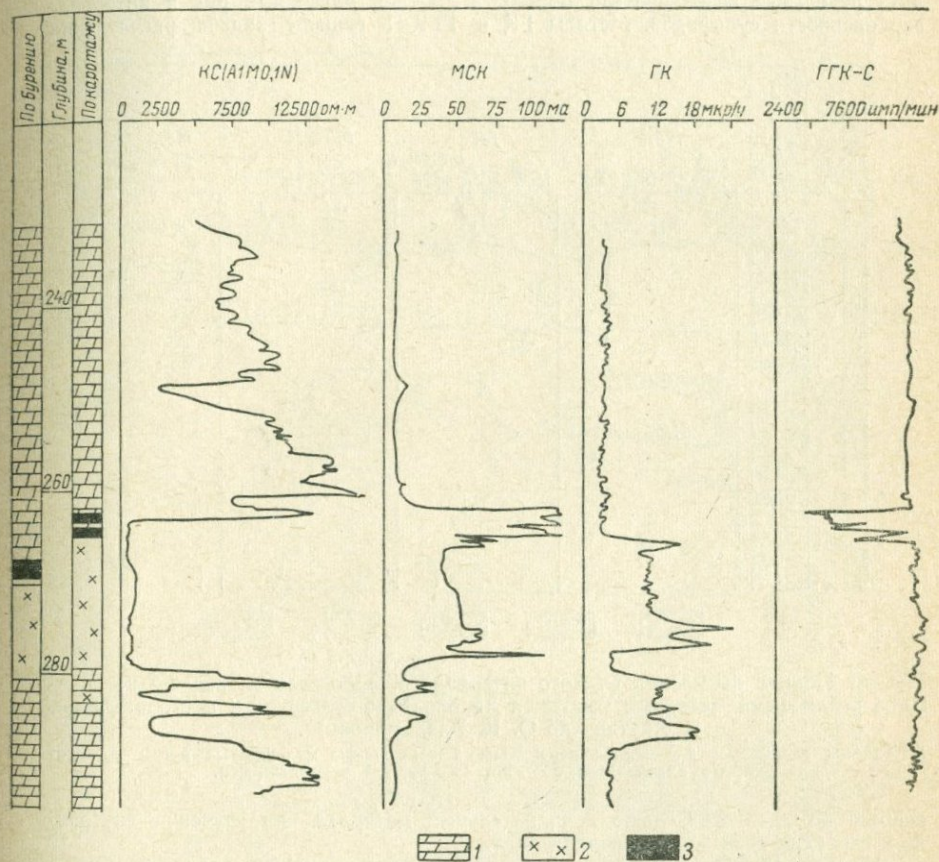


Рис. 15. Пример расчленения разреза с помощью комплекса каротажных методов на полиметаллическом месторождении, Забайкалье (по О. К. Владимирову).
1 — доломиты; 2 — порфириты; 3 — полиметаллические руды.

На рис. 15 показаны диаграммы КС, МСК, ГК и ГГК-С, т. е. методов (табл. 5), применение которых обосновано необходимостью решения частных задач в процессе изучения разреза.

В данном случае КС характеризует разрез по сопротивлению, фиксируя контакты между доломитами и порфиритами. Рудное тело по сопротивлению от порфиритов почти не отличается.

Метод МСК использован как для литологического расчленения пород, так и для выявления рудного тела, залегающего на контакте с порфиритами.

Метод ГК наиболее четко фиксирует контакты порфиритов с доломитами; по кривой ГК в колонке, составленной по каротажу, выделено тело порфиритов и контакт порфиритов с рудным телом.

Метод ГГК-С однозначно решает задачу выделения рудного тела в разрезе, причем амплитуда аномалии на диаграмме оценивает рудный интервал качественно.

Пример, приведенный на рис. 16, характеризует возможности каротажного комплекса, представленного МСК, МЭП, ГГК-П и ГК. Методы МСК и МЭП позволяют четко ограничить рудное тело, выявить детали его строения, выделить отдельные небольшие по мощности просло массивных руд в интервале вкрапленности сульфидов. Методы ГК и ГГК-П решают задачи расчленения

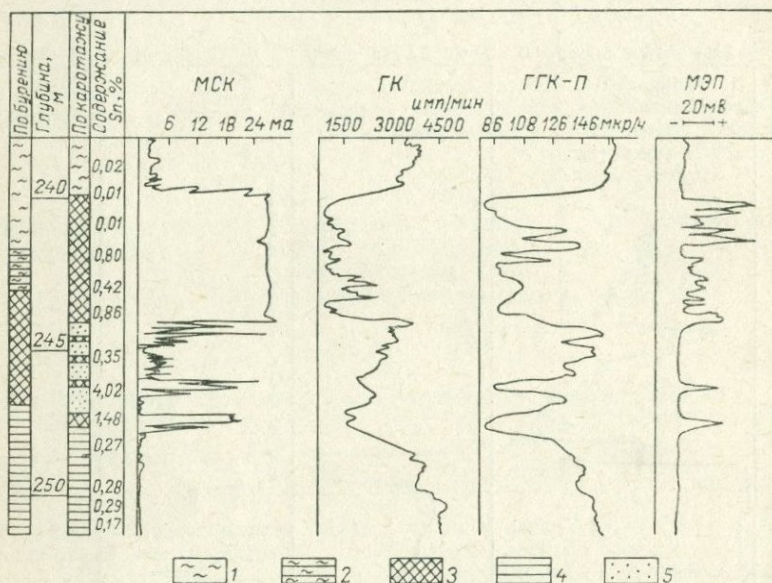


Рис. 16. Пример выделения рудного интервала в геологическом разрезе по скважине различными методами каротажа на оловянно-сульфидном месторождении, Якутия (по О. К. Владимирову).

1 — сланцы глинистые; 2 — сланцы перемятые; 3 — массивные сульфидные руды; 4 — глинистые алевролиты; 5 — зона сульфидной вкрапленности.

разреза по литологии, дают дополнительный материал при изучении внутреннего строения всей зоны минерализации.

На рис. 17 приведен пример решения одной из частных задач уточнения разреза: выявление в разрезе углистых прослоев и разделение аномалий от рудных тел и углисто-глинистых сланцев. Задача решается с помощью комплекса методов МСК, МЭП, ГГК-С. На диаграмме МСК и МЭП углистые прослои и зоны сульфидизации характеризуются сходными аномальными величинами I и U_0 . Метод ГГК-С позволяет однозначно выделить в разрезе рудное тело, которое характеризуется пониженными значениями $I_{\Gamma\Gamma}$, в то время как против углистых прослоев увеличиваются значения рассеянного гамма-излучения.

В некоторых случаях, когда положение границ зоны сульфидной минерализации не совпадает с границами рудного тела, применение методов электрокаротажа для выделения в разрезе рудных интервалов не дает желаемых результатов. Решение задачи достигается применением ГК, по диаграммам которого зоны окварцеванных пород, к которым приурочено оруденение, выделяют по пониженным значениям естественной гамма-активности.

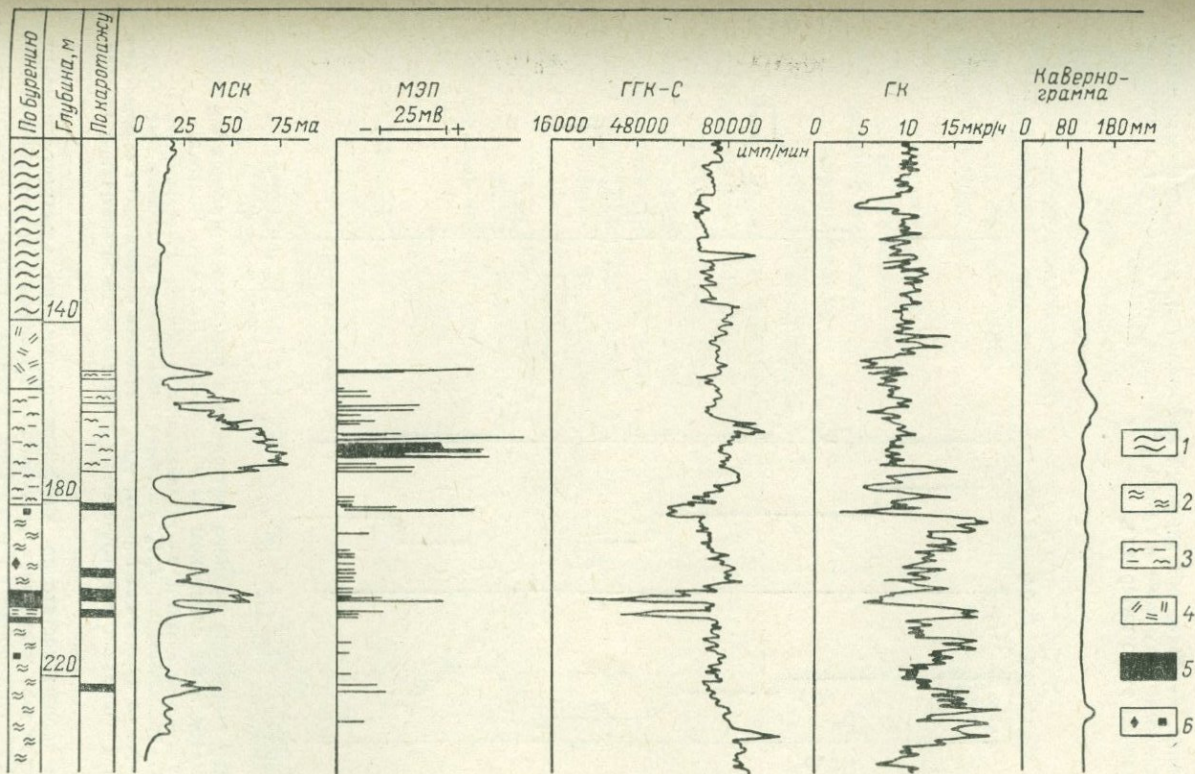


Рис. 17. Пример выделения рудных интервалов в разрезе, характеризующемся наличием углистых образований, на одном из полиметаллических месторождений Рудного Алтая (по О. К. Владимирову).

Сланцы: 1 — карбонатно-хлоритовые, 2 — серицито-кварцевые, 3 — углисто-глинистые; 4 — кварциты; 5 — зона сульфидной минерализации; 6 — вкрапленность пирита и сфалерита.

На рис. 18 приведен пример сопоставления результатов геологической документации керна, каротажных исследований и геохимического опробования по рудной зоне одного из касситерит-сульфидных месторождений Дальнего Востока.

Участок зоны, наиболее обогащенный касситеритом, характеризуется пониженными значениями силы тока и гамма-активности, что объясняется интенсивным окварцеванием этого интервала.

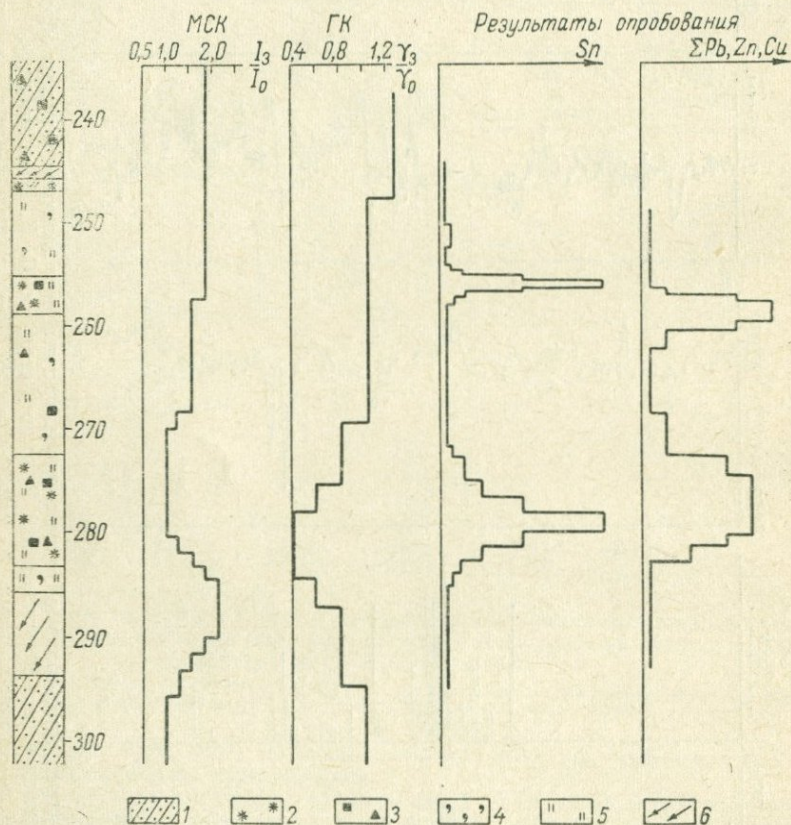


Рис. 18. Пример выделения рудного интервала с помощью комплекса каротажных методов на оловянном месторождении Дальнего Востока.

1 — песчаники; 2 — турмалинизация; 3 — вкрапленность сульфидов; 4 — серицитизация; 5 — окварцевание; 6 — пропилитизация; I_3/I_0 — значения силы тока в аномальной зоне, приведенные к силе тока во вмещающих породах; γ_3/γ_0 — значения интенсивности естественного гамма-излучения в аномальной зоне, приведенные к интенсивности во вмещающих породах.

Не всегда породы достаточно дифференцированы по электропроводности, и в ряде случаев этот недостаток усугубляется влиянием гидротермального метаморфизма. Различия пород по естественной гамма-активности не повсеместны и часто невелики, потому эффективность ГК в этом случае зависит от точности наблюдений. Дифференциация пород по магнитной восприимчивости, плотности и пористости существует не везде, а включение в комплекс каротажных методов КМВ, ГК и НГК приносит значительные трудности технического и методического характера.

Следует иметь в виду, что для детального расчленения разреза в большинстве случаев необходим широкий комплекс методов, выбор которого должен быть в каждом отдельном случае обоснован опытными работами. При подборе методов следует учитывать их возможности как в расчленении вмещающих пород, так и в выделении рудных тел.

Определение литологических границ в блоках пород между скважинами

Для решения задачи применяются геофизические (заряд, радиоволновое просвечивание) или геохимические методы, если контактирующие толщи отличаются по удельному электрическому сопротивлению или составу.

При этом методами геофизики пытаются выявить (или доказать отсутствие) деформации электрического, радиоволнового или геохимического полей в промежулке между скважинами и по ним установить наиболее вероятное поведение границы раздела пород.

Например, на одном из редкометальных месторождений Киргизии метод радиоволнового просвечивания был применен в основном для изучения поведения контакта между сланцами и известняками в межскважинном пространстве (рис. 19). На месторождении различаются два положения контакта между скважинами: нормальное залегание его между подсечениями в соседних скважинах и осложненное тектоническими нарушениями (или складками). На рис. 19 показаны оба варианта структуры — нормальное залегание контакта между скв. 1309 и 1124 и

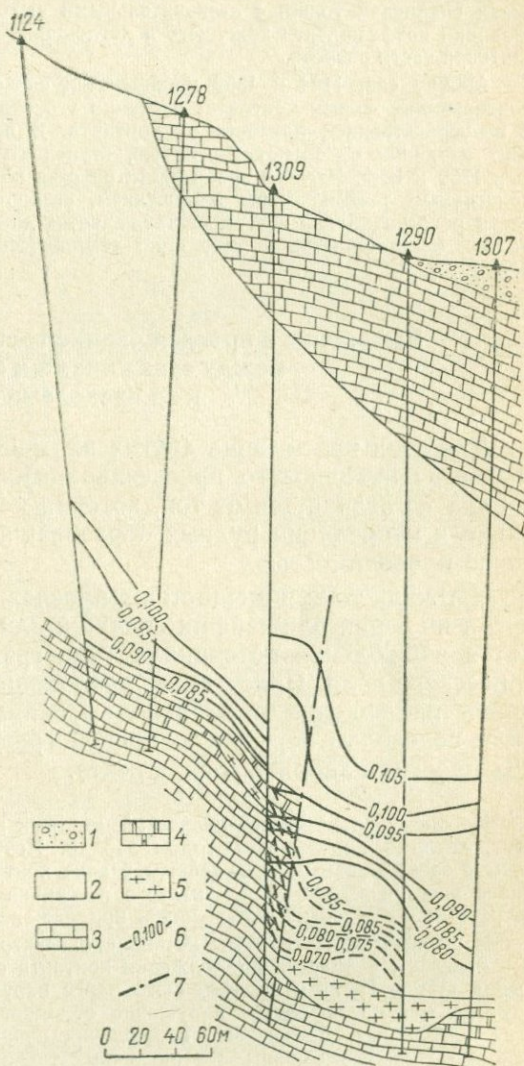


Рис. 19. Изолинии коэффициента кажущегося поглощения в плоскости разреза XII (по Б. Б. Шатрову и А. М. Вольхину).

1 — рыхлые отложения; 2 — сланцы; 3 — слоистые известняки; 4 — массивные известняки; 5 — джаспериты; 6 — изолинии α_k ; 7 — тектоническое нарушение.

осложненное сбросом — между скв. 1309 и 1290. Радиоволновое просвечивание между скважинами проведено на частоте 2,5 Мгц (кроме того, между скв. 1309 и 1290 — на частоте 5,0 Мгц). Ввиду того что измерения велись в основном в пределах сланцевой толщи с незначительными выходами за контакт в известняки, изолинии коэффициента кажущегося поглощения α_k сконцентрированы в надконтактной части разреза.

Между скв. 1124 и 1309 наблюдается спокойное поведение изолиний α_k , повторяющих форму контакта; особенно это относится к изолинии, проходящей в непосредственной близости от контакта. В пространстве между скв. 1309 и 1307 изолинии α_k имеют изогнутую, ступенчатую форму, также как и между скв. 1309 и 1290. Изгиб в левой части разреза вблизи скв. 1309 совпадает с предполагаемым тектоническим нарушением, резко сместившим контакт. В правой части разреза вблизи скв. 1290 наблюдается еще один изгиб изолиний α_k . Возможно, здесь существует еще одно тектоническое нарушение [Шатров, Волыгин, 1966].

Выявление и прослеживание тектонических нарушений между скважинами и горными выработками и за пределами одиночных выработок

Для этих целей чаще других применяется метод заряда (реже метод радиоволнового просвечивания). Методика работ методом заряда не отличается от той, которая используется для прослеживания и корреляции рудных образований, характеризующихся высокой проводимостью.

Источник тока помещается в прослеживаемый проводящий объект, а по серии ближайших скважин или горных выработок проводятся наблюдения потенциала (или градиента потенциала) электрического поля. Присутствие проводящего объекта отмечается на линии наблюдения аномально высокими значениями потенциала (или переходом через нуль кривой градиента потенциала) в точках проекции заряженного объекта.

На рис. 20 показан тектонический, местами минерализованный контакт двух свит, который прослежен методом заряда. Первоначально наблюдения выполнены с заземлением 1, помещенным в зоне контакта свит. Максимумами потенциала электрического поля для этого источника в штольне 28 отмечено 3 из 4 встреченных в штольне нарушений и продолжение контакта свит.

В штольне 11 максимумы потенциала электрического поля от этих источников отмечены в области продолжения контакта свит и осложняющего его нарушения (ПК5—ПК7) и пропущенного ранее нарушения в области ПК15. По-видимому, именно последнее нарушение обладает лучшей проводимостью среди всех отмеченных. Дальнейшие наблюдения проведены по штольне 11 с заземлениями 2—5, размещенными в различных точках штольни 28. На всех кривых потенциала электрического поля наблюдаются аномально высокие значения потенциала по штольне 11 в областях контакта свит (ПК5—ПК7) и вновь выявленного нарушения, что указывает на электрическую связь всей системы нарушений на участке между собой и с контактами свит.

Применение скважинных геофизических методов для выделения геологических контактов и структурно-тектонических элементов затруднено или вообще невозможно в случаях, когда различные по литологии горные породы не отличаются по физическим свойствам. С помощью каротажных диаграмм можно выделить те

толщи, от которых есть надежда получить аномальный эффект геофизическими методами. Осложняющими обстоятельствами могут быть чересчур частые изменения физических свойств в пределах одной породы или сходные свойства разных пород. В этом случае вопрос решается сопоставлением каротажных данных с литологическими и структурно-тектоническими элементами, вскрытыми скважинами.

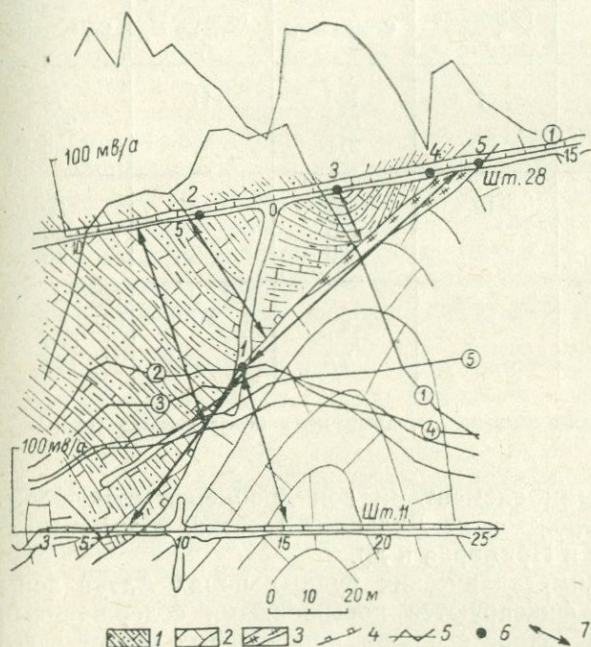


Рис. 20. Результаты работы методом заряда в штольнях одного из месторождений Узбекистана (по И. И. Неганову и В. Г. Власову).

1 — известняки продуктивной толщи; 2 — массивные мраморизованные известняки; 3 — тектоническое нарушение; 4 — тектонический контакт двух свит; 5 — графики потенциала электрического поля; 6 — точки расположения источников тока и их номера; 7 — предполагаемое положение тектонических нарушений, проводящих электрический ток.

Структурно-тектонические элементы изучаются также и геохимическими методами. Исследования сводятся к выявлению зон дизъюнктивных нарушений (если они оказывают влияние на распределение оруденения и другими методами обнаруживаются слабо) и оценке их возможной рудоносности за пределами изученной части.

Решение этих задач обеспечивается тем, что обычно зоны нарушений в пределах месторождений обогащены рудными элементами, а степень обогащения и набор элементов могут свидетельствовать об их потенциальной рудоносности.

Обогащение зон рудными элементами отмечалось многими авторами. Например, Ж. К. Купер и Л. С. Хафф [1954] в районе развития медных и цинковых месторождений в штате Аризона обнаружили в зонах сбросов, контролирующих промышленное оруденение, до 0,23% «рудного металла», в то время как недробленный доломит, залегающий приблизительно в 1 м от сброса, содержит

его 0,0075%. Резкое увеличение количества меди, цинка и реже свинца в зонах сбросов отмечается этими авторами при обработке всех проб месторождений (табл. 7).

Таблица 7

Количество «рудных металлов» в пробах из зон сбросов и за их пределами, 10⁻³%
[Купер, Хафф, 1954]

Место отбора пробы	Кальцит		Доломит	
	Количество проб	Содержание*	Количество проб	Содержание*
Зона сброса	7	100 500 211	11	75 275 125
Прилегающие породы	12	50 175 69	43	50 600 86
Породы по профилю	15	50 150 77	56	50 500 106

* Верхняя строка — минимальное содержание, средняя — максимальное, нижняя — среднее.

Обогащение рудными элементами зон дробления отмечалось на оловорудных месторождениях Дальнего Востока, полиметаллических Рудного Алтая и Приморья и др.

Например, на полиметаллических рудных полях Алтая зоны дробления постоянно фиксируются повышенными содержаниями свинца и цинка. Опробование скважин, пробуренных вкrest всего рудного поля, позволяет уточнить положение крупных рудоконтролирующих разломов, наличие которых при документации керна скважин фиксируется лишь по степени метаморфизма пород.

Часто возникает необходимость коррелировать и проследивать зоны тектонических нарушений, обнаруженных в разных разведочных скважинах. При этом могут использоваться результаты анализа проб дробленных пород подобно тому, как это делается при геохимической корреляции рудных подсечений, о чем сказано ниже.

Однако применение геохимических методов при выявлении и проследивания геологических контуров и структурно-тектонических элементов ограничено. Только на тех месторождениях, где сильно проявлена разрывная тектоника, когда важна правильная увязка и проследивание отдельных нарушений, следует проводить систематическое опробование всех вскрытых тектонических зон и при обработке результатов использовать метод геохимической корреляции.

Выявление, прослеживание и оценка зон околорудных, гидротермально измененных пород в плане и объеме

Известно, что общим индикатором расположения (а иногда и формы) месторождения в той или иной структуре могут служить зоны околорудных гидротермально измененных минерализованных пород, почти всегда окружающие промышленные рудные тела. Выявление, оконтуривание и уточнение положения и размеров зон околорудных измененных и минерализованных пород играют, следовательно, важную роль, так как позволяют получить самые первые сведения о вероятном пространственном положении и размерах месторождения и определить возможную площадь под разведку (в случае обнаружения на участке промышленных руд).

Изучение структуры зон минерализованных пород в плане проводится обычно кроме геологических также наземными геофизическими методами еще на поисково-разведочной стадии работ. Однако подобные работы продолжают и на стадии предварительной разведки и ведутся уже в объеме участка (в разрезах и между ними) с помощью скважинных геофизических и геохимических методов.

Зоны измененных пород чаще всего выявляются и оконтуриваются электрохимическими методами — естественного электрического поля (ЕП) и вызванной поляризации (ВП) в масштабах 1 : 10 000 — 1 : 25 000. Реже с той же целью применяют более широкий комплекс методов (металлометрии, магниторазведки, ЕП, ВП и др.). Предпосылкой для использования электрохимических методов служат повышенные поляризуемость и естественная электрохимическая активность горных пород, несущих даже рассеянную рудную минерализацию. В некоторых случаях процессы гидротермальной проработки пород и рудообразование приводят к изменению (обычно к уменьшению) магнитных свойств, равно как и к изменению (чаще к увеличению) электрической проводимости пород. Прослеживать зоны минерализованных пород электрохимическими методами сравнительно легко, поскольку объемы околорудных измененных пород во много раз больше объемов рудных тел.

В простейших случаях, рассмотренных в настоящем руководстве, когда сульфидная минерализация обеспечивает высокую поляризуемость и повышенную проводимость в зоне измененных пород, а мощности рыхлых отложений на участке не превышают 30 м, для прослеживания зоны достаточно применить один какой-либо метод с проверкой результатов канавами или картировочными скважинами.

В условиях, когда зона минерализации скрыта рыхлыми отложениями мощностью 70—100 м или залегает на большой глубине в коренных породах, приходится прибегать к более сложной методике полевых работ. Если оруденение залегает в неполяризующейся среде (например в карбонатах), для прослеживания зон

минерализации рекомендуется наземная съемка ВП масштаба 1 : 50 000 — 1 : 25 000 с большими разносами питающих и особенно питающих электродов в сочетании с ВЭЗ ВП, картировочным и глубоким бурением. Работы методом ВП проводятся с установкой срединного градиента с разносами питающих электродов AB в 4 км и приемных в 100—200 м и шагом по профилю через 100—200 м. С одной стоянки питающих электродов обрабатываются три профиля: тот, на котором стоят питающие электроды, и два ближай-

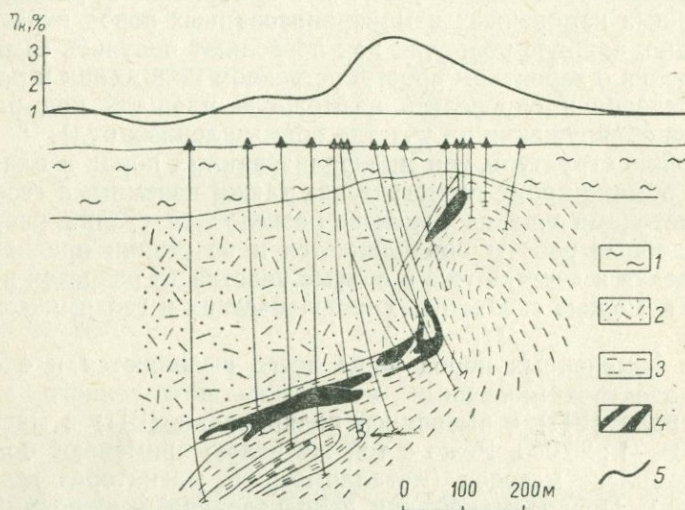


Рис. 21. Результаты работ методом ВП с большими разносами питающих заземлений на одном из месторождений Рудного Алтая (по М. В. Семенову и Ю. В. Синдяеву).

1 — рыхлые отложения; 2 — лавы и туфы таловской свиты среднего девона; 3 — рассланцованные эффузивно-осадочные породы березовской свиты среднего девона; 4 — рудные тела; 5 — график кажущейся поляризуемости для установки срединного градиента ($AB=4$ км).

шие через 250—500 м от него. Примером успешного применения рекомендуемой методики служат работы на одном из месторождений Рудного Алтая. Вполне отчетливая аномалия кажущейся поляризуемости (рис. 21), интенсивностью до 4,5% при нормальном фоне поляризации вмещающих пород в 1% получена на профиле, на котором ранее проведенные наблюдения методами гравиразведки, естественного электрического поля, комбинированного профилирования и вызванной поляризации с разносами электродов до 1000 м не дали никакого результата [Семенов, Синдяев, 1967].

Размеры аномалии ВП в некоторых случаях могут быть полезны для предварительной оценки возможной рудоносности выявленной зоны сульфидной минерализации. Как показало изучение аномалий ВП примерно на 100 месторождениях и непромышленных рудопроявлениях, вероятность встретить промышленное оруденение в данной зоне тем выше, чем больше площадь аномалии. Для рудопроявлений, относящихся к колчеданно-полиметалличе-

скому генетическому типу (для районов Алтая, Чингиза, Урала) и имеющих размеры аномалии ВП более чем 300×1000 м, вероятность обнаружения промышленного месторождения около 50%. Аномалии меньших размеров, скорее всего, связаны с мелкими непромышленными объектами. Следует только иметь в виду, что такая оценка неприменима для региональных аномалий, встречающихся в экзоконтактовых частях крупных интрузивов [Жомаров, Попов, 1967; Маркушин, Нахтигаль, Ткаченко, 1967].

Для изучения зон минерализации применяются скважинные геофизические методы вызванной поляризации, низкочастотного (постоянного) тока, радиоволнового просвечивания и метод первичных геохимических ореолов.

В качестве примера приведем результаты наблюдений методами постоянного тока, ВП, радиоволнового просвечивания и изучения первичных ореолов по профилю одного из полиметаллических месторождений Киргизии (рис. 22 и 23).

На рис. 22 показаны контуры зоны минерализации в интерпретации, выполненной только по данным бурения, согласно которой зона имеет седловидную форму в разрезе и ограничена с боков двумя разломами. Данные скважинных геофизических и геохимических работ позволили несколько иначе рассмотреть положение рудной зоны в разрезе.

По данным электрокаротажа скважин было выявлено, что сильно трещиноватые андезиты и песчаники, слагающие основную площадь месторождения и содержащие сульфидную минерализацию, имеют удельное сопротивление порядка $100-400$ ом·м, в то время как сопротивление неизменных пород колеблется от 1000 до 3000 ом·м. Вкрапленные и прожилково-вкрапленные руды в андезитах имеют сопротивление $100-500$ ом·м, т. е. рудные зоны отличаются по проводимости от вмещающих пород минимум в 2-10 раз, что вполне достаточно для их корреляции методами электроразведки.

Электрическая корреляция проводящих зон и рудных тел осуществлялась в межскважинном пространстве разреза (скв. 3, 8-10, и 39). Заземления производились в скв. 3, 8 и 10 в рудных или минерализованных интервалах. Градиент потенциала измерялся по всем скважинам разреза. Участки проводимости коррелировались на основании анализа формы кривых градиента потенциала и положения характерных точек на них. По этим кривым (скв. 3, 8, 9, 10 и 39) были выделены участки повышенной проводимости, коррелирующиеся между собой и объединенные в общую зону; эта зона по скв. 3, 8 и 10 пространственно тяготеет к верхним интервалам вкрапленных руд и линейно вытянута к скв. 9 и 10 (рис. 23). В последних скважинах видимой минерализации в пределах зоны проводимости не отмечено.

Дальнейшее изучение велось путем измерения вызванной поляризации по скважинам с трехэлектродной установкой А20 М10N. В результате наблюдений по скв. 3, 8, 9, 10 и 39 установлено, что рудные интервалы фиксируются аномалиями кажущейся поляризуемости от 10 до 20%, которые пространственно тяготеют к зонам повышенной проводимости, фиксируемым скважинной электроразведкой и радиоволновым просвечиванием. Зона сульфидной минерализации

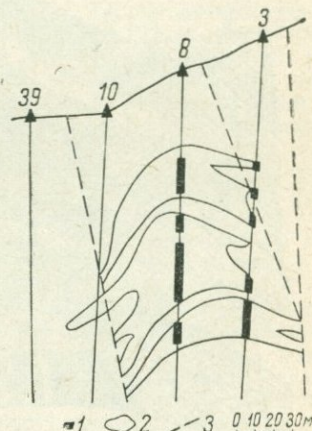


Рис. 22. Схематический разрез по скважинам, полиметаллическое месторождение, Киргизия.

1 — рудные интервалы; 2 — контуры рудных тел по данным геологоразведочной партии; 3 — предполагаемые разломы.

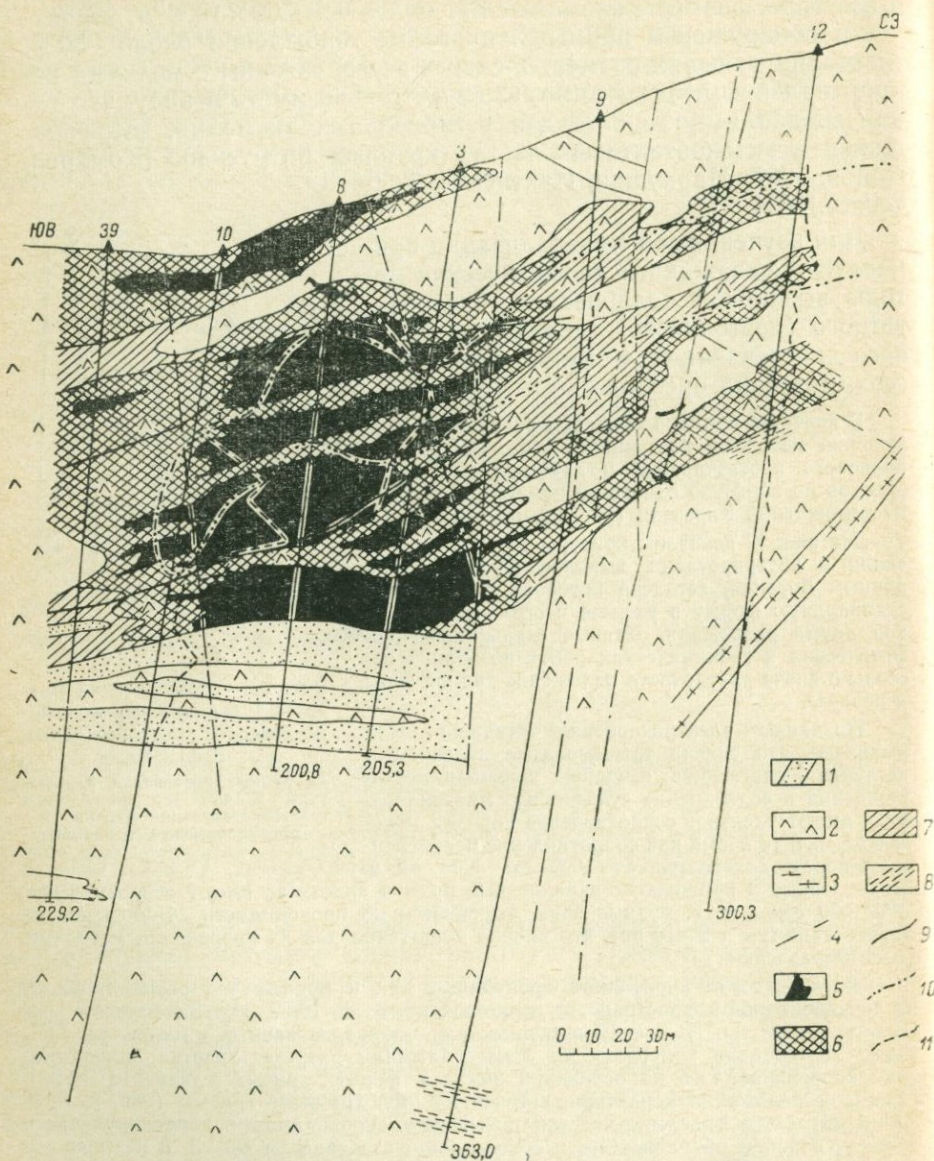


Рис. 23. Контуры рудных тел и первичных ореолов по данным комплексных скважинных исследований.

1 — песчаники; 2 — эффузивы; 3 — сиенит-порфиры; 4 — предполагаемые разломы; 5 — предполагаемые контуры рудных тел; первичные ореолы: 6 — свинца, цинка, серебра, сурьмы, 7 — цинка, сурьмы, мышьяка; 8 — олова; 9 — зона повышенной электрической проводимости; 10 — зона поглощения по радиоволновому просвечиванию; 11 — кривые кажущейся поляризуемости для трехэлектродной установки.

по данным метода ВП также скорее всего имеет линейное, моноклинальное залегание.

Исследование методом радиоволнового просвечивания в разрезе ввиду малого расстояния между скважинами (около 50 м) проведено на частоте 5 Мгц. Результаты исследования были представлены в виде разреза с изолиниями коэффициента кажущегося поглощения. В разрезе выделяется зона повышенных поглощений, пространственно совпадающая с рудными подсечениями в скв. 10 и верхними интервалами вкрапленных руд по скв. 3 и 8. Нижняя часть разреза не освещена из-за плохой сохранности скважин. Если принять за крайние контуры зоны изолинию 0,150 *непер/м*, то ширина зоны поглощения удовлетворительно совпадает с мощностью вкрапленных руд в скв. 3 и 8, но значительно превышает рудные интервалы в скв. 10. В то же время данные ВП по скв. 10 показали, что зона сульфидной минерализации в ней должна быть шире, чем указано на геологической колонке скважины. Поэтому, если это учесть, зона минерализации по скв. 10 также ляжет в пределы изолинии 0,150 *непер/м*. Зона повышенных поглощений выклинивается между скв. 10 и 39, но продолжается за скв. 9.

Геохимические исследования, проводившиеся по первичным ореолам, установили четко выраженную закономерность в распределении как основных рудообразующих элементов, так и элементов-спутников, относительно рудных тел.

Определена зональная структура ореолов, вытянутых по направлению простирания рудных тел. Внутренняя часть зоны представлена ассоциацией из свинца, цинка, серебра и сурьмы, внешняя — из цинка, сурьмы и мышьяка.

По результатам проведенных исследований устанавливается не антиклинальная, как предполагалось, а линейная структура рудной зоны со слабым наклоном к юго-востоку. Хотя новая трактовка рудоносной структуры и контуров рудных тел в данном разрезе и не меняет существенно количество запасов свинца, она дает возможность более правильно подойти к разведке месторождения и оценке его перспектив, в частности, в сторону падения структуры на юго-восток.

§ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ (ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ), РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ И ДЕТАЛЕЙ СТРОЕНИЯ РУДНЫХ ТЕЛ

В настоящем параграфе будут последовательно рассмотрены способы определения элементов залегания (простирания и падения), размеров (по простиранию, падению, мощности), а также формы взаимосвязи и деталей строения отдельных рудных тел при помощи скважинных геофизических (и частично геохимических) методов.

Определение элементов залегания рудных тел

Определение простирания. В главе III уже были рассмотрены способы определения ориентировочных направлений простирания и размеров (по направлению рудных зон и тел, достаточные для оценки. Ниже решение этих задач рассмотрено более подробно для разведки.

Наиболее эффективным методом определения простирания рудных тел (как и всей рудовмещающей зоны в целом) в условиях сульфидных месторождений является скважинная электроразведка постоянным током в варианте заряженного тела.

Для этой цели питающее заземление располагается в рудном пересечении в скважине, а измерение потенциала поля заря-

женного рудного тела проводится на поверхности земли по системе профилей, ориентированных вкрест предполагаемого простиранья пород и рудных тел.

В случае отсутствия заметной электрической анизотропии вмещающих пород и параллельно залегающих протяженных рудных тел успешное решение задачи возможно и в условиях значительной глубины залегания рудных тел (первые сотни метров). Изолинии потенциала (в плане) будут иметь вытянутую эллипсообразную форму с длинной осью, направленной по простиранью рудного тела. В условиях значительной анизотропии вмещающих пород по вытянутости изолиний потенциала может быть отмечено лишь направление сланцеватости анизотропных пород и определение простиранья согласно залегающих рудных тел будет затруднено.

Одновременно по плану изолиний потенциала могут быть получены данные о размерах рудного тела по простиранью (местах его выклинивания), наличии соседних тел и т. п.

При горизонтальных или пологопадающих рудных телах по вытянутости изолиний потенциала будет определяться направление простиранья длинной оси каждого исследуемого тела.

На рис. 24 приведен пример определения простиранья медноколчеданного рудного тела (и всей рудовмещающей толщи) по результатам метода заряженного тела. Первоначально по геологическим данным предполагалось, что рудное тело, обнаруженное по результатам картировочного бурения и вскрытое скв. 16, 26 и другими, имеет северо-западное простиранье (азимут $\sim 320^\circ$). В соответствии с этим представлением было намечено направление профилей буровых скважин и начато разбуривание месторождения. Работа методом заряженного тела проводилась при заземлении питающего электрода в рудных интервалах скв. 16 и 26. Измерения потенциала велись по профилям, совпадающим с направлением буровых профилей.

По вытянутости изолиний потенциала было установлено, что первоначальное представление о простираньи рудного тела не соответствует действительности. На самом деле простиранье всей рудовмещающей толщи и согласно залегающего рудного тела северо-северо-восточное (почти меридиональное). В связи с этим была изменена ориентировка профилей (угол с первоначальным направлением составил 30°) и вся дальнейшая разведка проводилась по профилям, ориентированным строго в широтном направлении. Необходимо отметить, что результаты геофизических работ во многом способствовали успеху дальнейшей разведки месторождения (в итоге промышленности был передан значительный запас рудный объект).

В ряде случаев направление простиранья рудного тела, определенное по данным канавных работ и мелкометражного бурения, изменяется на более глубоких его горизонтах. Это устанавливается с помощью скважинных геофизических работ.

На рис. 25 приведен пример определения положения на глубине (простиранья, длины по простиранью и взаимоотношения с соседним рудным телом) колчеданно-полиметаллического тела, разбуренного скв. 9 и 10. Первоначально по данным проходки канав, вскрывших окисленные руды, считалось, что простиранье рудного тела северо-восточное. Однако распределение потенциала электрического поля на поверхности при заземлении питающего электрода в рудном пересечении скв. 10 не подтвердило этого. По вытянутости изолиний потенциала установлено почти широтное простиранье рудного тела I. Размеры его по простиранью оценены в 400 м и отмечена связь на глубине с соседним рудным те-

лом II, которое пересечено скв. 8 на глубине 120—130 м. Восточнее устья скв. 8 рудное тело II приближается к дневной поверхности и четко фиксируется по искажениям изолиний потенциала.

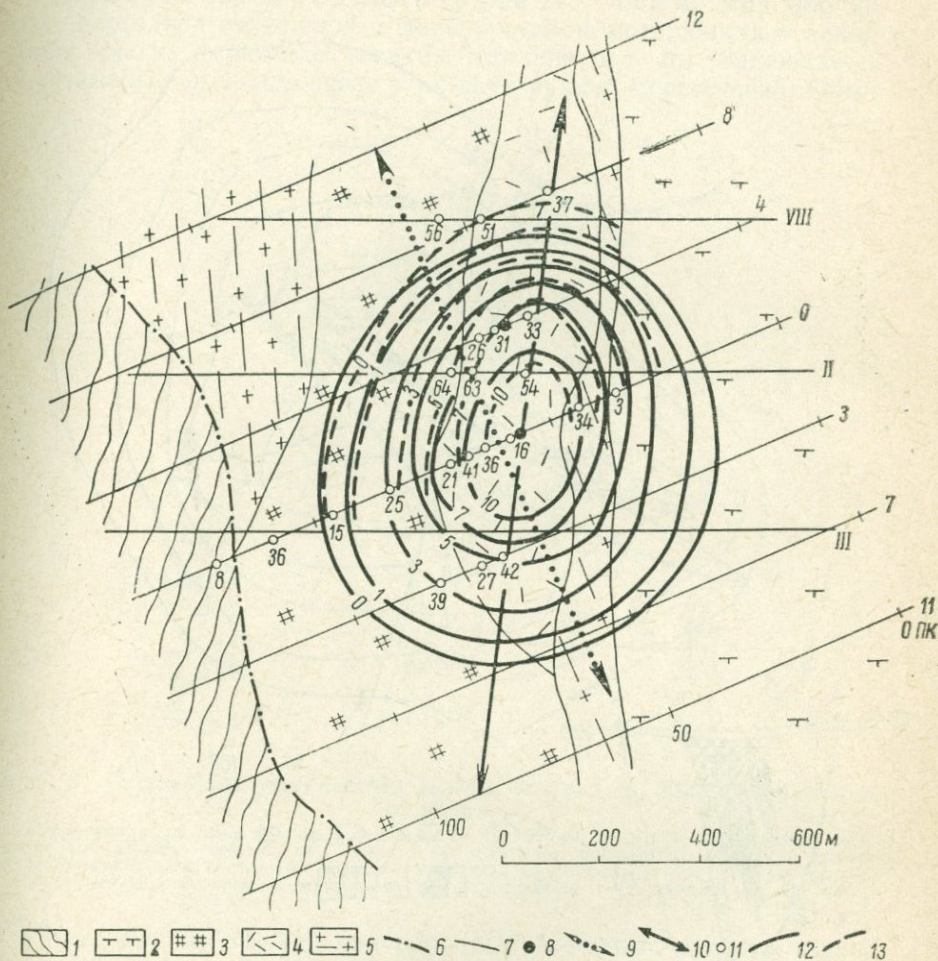


Рис. 24. Определение простирания рудовмещающей толщи и медноколчеданного рудного тела по данным метода заряда.

1 — метаморфические сланцы; 2 — туфы; 3 — лавы альбитофиров; 4 — лабобрекчии; 5 — плагиограниты; 6 — тектонические нарушения; 7 — геологические границы; 8 — проекции точек заряда на поверхность; *простирание рудовмещающей толщи и рудного тела*: 9 — первоначально предполагаемое, 10 — истинное; 11 — буровые скважины; *изолинии потенциала при заряде*: 12 — в рудное тело, вскрытое скв. 16, 13 — в скв. 26.

Как правило, надежное определение простирания рудных тел возможно только при проведении измерений на дневной поверхности по площади, примыкающей к скважине, в которой произведен заряд. Если рудные тела залегают на больших глубинах от поверхности (сотни метров) и имеют размеры по простиранию, не

превышающие их глубины залегания, то наблюдаемое поле на поверхности не будет сколько-нибудь четко отличаться от поля точечного источника тока и, таким образом, не даст возможности

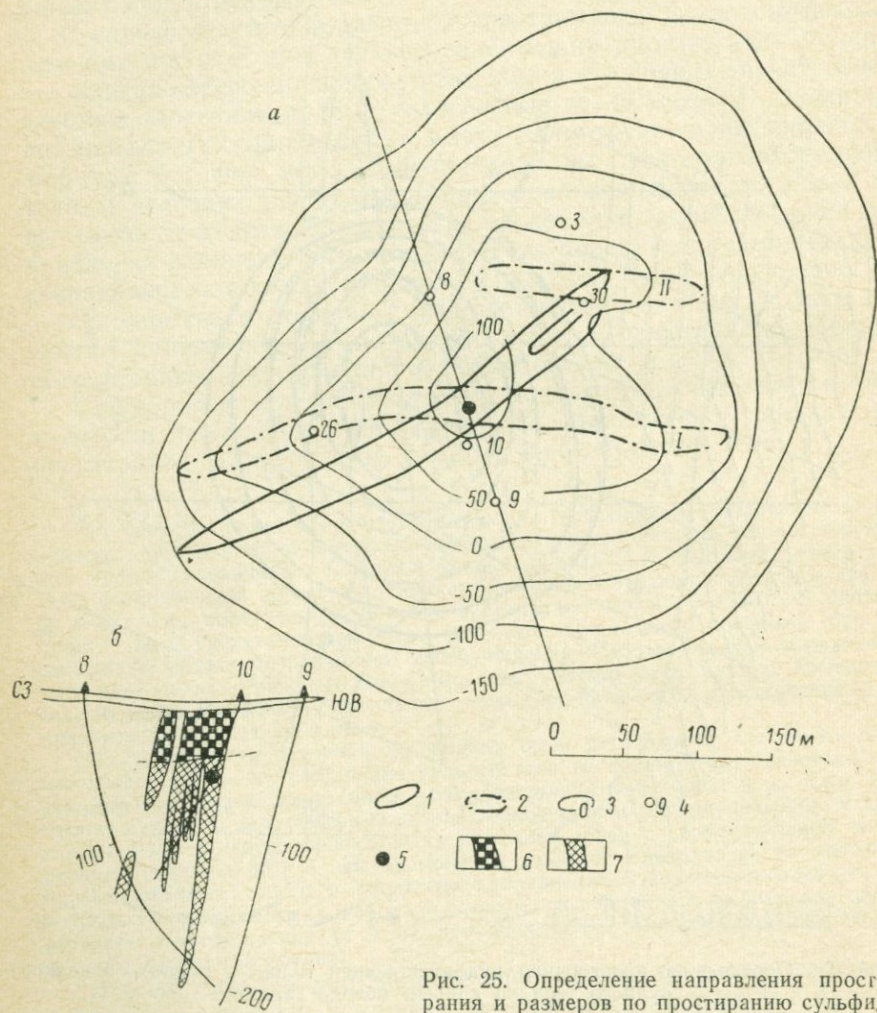


Рис. 25. Определение направления прогибания и размеров по простираанию сульфидных рудных тел (а) и разрез по линии скв. 9-10-8 (б) (по данным АГЭ ВКГУ).

1 — положение окисленной части рудного тела по данным проходки канав; 2 — положение рудных тел на глубине по данным метода заряда; 3 — изолинии потенциала при заряде рудного тела в скв. 10; 4 — буровые скважины; 5 — положение источника тока; 6 — окисленные руды; 7 — массивные сульфидные руды.

решить задачу. В этом случае необходимо использовать собственно скважинные варианты методов постоянного тока, вызванной поляризации, индуктивной электроразведки (АСМИ), позволяющие проследить рудные тела между скважинами и в конечном

итоге нанести на план проекцию рудного тела на поверхность. Эти вопросы более подробно рассматриваются ниже.

Определение падения рудного тела, если оно пересечено одной скважиной и фиксируется на поверхности в какой-либо горной выработке (канаве, штольне и т. п.), заключается в установлении взаимосвязи этих двух рудных пересечений. Обыч-

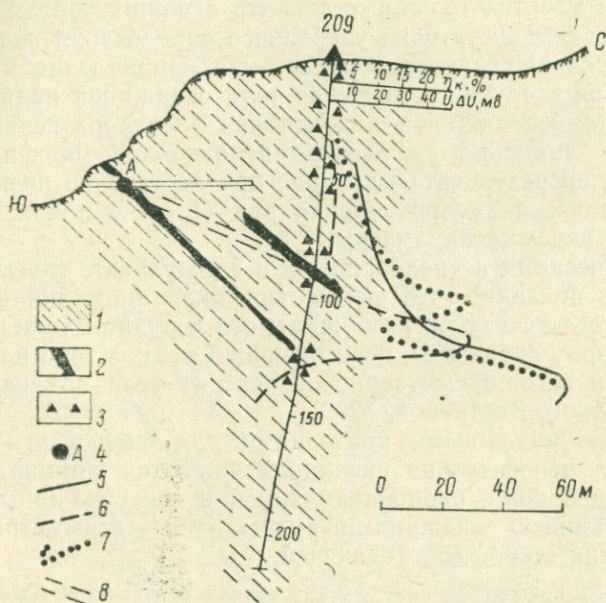


Рис. 26. Определение угла падения сульфидных руд по данным скважинной геофизики.

1 — эффузивно-осадочные породы; 2 — массивные сульфидные руды; 3 — вкрапленные сульфиды (по данным геофизических работ); 4 — положение питающего электрода; кривые: 5 — потенциала поля постоянного тока, 6 — градиента потенциала, 7 — поляризуемости пород по стенке скважины; 8 — положение рудного тела (по геологическим данным.)

но при наличии хорошо проводящих сульфидных руд эта задача решается методом электрической корреляции, а в плохо проводящих (прожилковых и вкрапленных) — методом вызванной поляризации.

Для решения этой задачи питающий электрод располагается в рудном интервале на поверхности, измерения проводятся по скважине, а затем, наоборот, питающий электрод располагается в скважине, а измерения ведутся по поверхности.

На рис. 26 приведен пример определения угла падения тела, вскрытого в штольне вблизи ее устья и в скважине на глубине 90 м. Первоначально предполагалось, что эти оба пересечения принадлежат одному и тому же рудному телу, полого падающему на север. Однако при проведении работ методами постоянного тока и ВП выяснилось, что рудное тело, встреченное штольной, имеет более крутое падение и выклинивается, не достигая скв. 209, на горизонте 125 м. В этом интервале скв. 209 встретила лишь зону сульфидной минерализации. Вы-

явилось также, что руда, вскрытая скв. 209 в интервале 90 м, принадлежит обособленному телу, залегающему более круто, чем предполагалось ранее.

Полученные результаты были подтверждены позднейшими буровыми и горными работами.

В том случае, когда рудное тело встречено в одной скважине или только на поверхности (в канаве, шурфе), определение его угла падения вызывает определенные трудности. Чаще всего методом заряда удается только установить в общих чертах направление падения без достаточно уверенного определения величины его угла. Надежным средством определения направления и величины угла падения в случае подсечения тела скважиной является трехкомпонентная скважинная индуктивная электроразведка в модификации дипольного электромагнитного профилирования (ДЭМПС), по результатам которой при достаточно низком удельном электрическом сопротивлении руд (1 ом·м и ниже) удается определять искомые параметры.

Теоретическими исследованиями и в результате модельных экспериментов показано, что форма графиков аномалий вторичного электромагнитного поля, возбуждаемого в рудном теле и измеряемого по стволу скважины, пересекающей рудное тело или прошедшей вблизи него, существенно зависит от угла падения рудного тела [Лебедин, Вострецов, 1969].

Наиболее надежными критериями для оценки угла падения рудных тел относительно скважины являются ширина аномалии составляющей поля, перпендикулярной к оси скважины, а в случае пропущенных скважинами рудных тел — асимметрия графиков аномалии осевой составляющей.

На рис. 27 приводится практический случай определения падения рудного тела по данным скважинной индуктивной электроразведки с комплектом АСМИ. Первоначально предполагалось, что мощное рудное тело, разбуренное скв. 47 и 55, имеет падение на восток под углом 45°. Исходя из этих предположений была задана скв. 56 с целью подсечь рудное тело на более глубоких горизонтах. Одновременно в скв. 47 были проведены наблюдения с комплектом АСМИ, по данным которых установлено, что вблизи скв. 47 рудное тело имеет падение, близкое к вертикальному. Действительно, скв. 56, находящаяся в проходке во время проведения геофизических работ, на проектных глубинах рудных тел не встретила. Результаты индуктивной электроразведки при проведении работ по стволу скв. 56 подтвердили сделанный ранее вывод. Было установлено, что рудное тело в межскважинном пространстве не только имеет почти вертикальное падение, но и выклинивается вблизи ствола скв. 56. Нижняя кромка тела фиксируется в 15 м от ствола скважины на глубине 275—280 м.

По характеру активной части осевой составляющей аномального электромагнитного поля (рис. 27), имеющей плавный рост значений до глубины 280 м и затем их быстрое уменьшение, четко устанавливается, что на всем интервале от 150 до 180 м ствол скв. 56 непрерывно приближается к источнику аномального электромагнитного поля, т. е. рудному телу, что возможно только в случае его крутого падения. Проверочная скв. 312 действительно пересекла два рудных интервала на глубинах 155—172 и 205—230 м, первый из которых по данным скважинных исследований принадлежит небольшому обособленному рудному телу, а второй соответствует окончанию основного рудного тела, имеющего в плоскости разреза сложную линзообразную форму. По результатам работ в скважинах на соседних профилях сделанные выводы полностью подтверждены, что позволило оконтурить рудное тело по площади всего месторождения и правильно составить геологические разрезы.

Если руды пересечены несколькими скважинами (на разных горизонтах по падению), то определение углов падения отдельных тел или одного тела в разрезе скважин производится путем установления сплошности между рудными подсечениями и замера по чертежу углов падения тел, сплошность которых установлена.

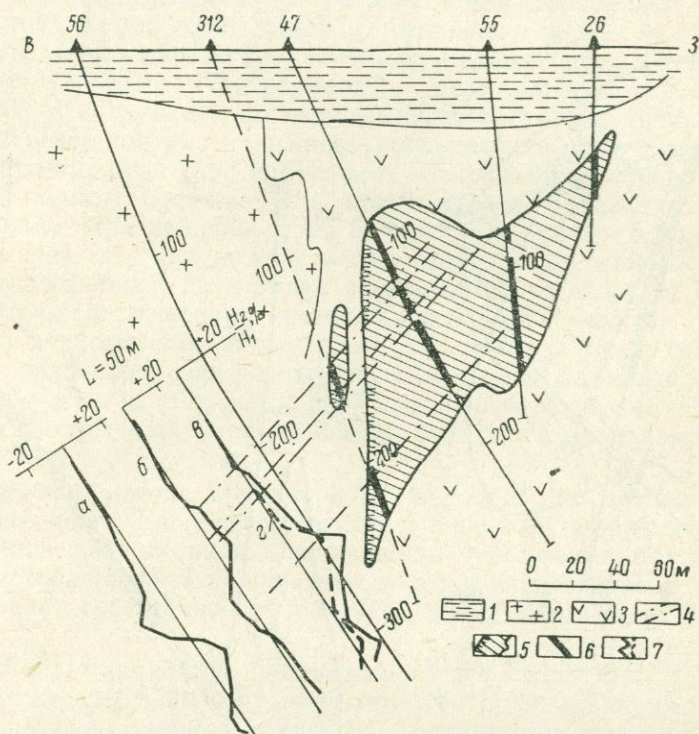


Рис. 27. Определение падения рудных тел по данным скважинной индуктивной электроразведки (по Л. В. Лебедину и Р. Н. Вострецову).

1 — кора выветривания; 2 — гранитоиды; 3 — порфириты; 4 — предполагаемое положение рудных тел по геологическим данным; 5 — контур рудного тела по данным скважинной индукционной электроразведки; 6 — рудные интервалы по скважинам; 7 — графики составляющих вторичного электромагнитного поля: а — вертикальной, б — горизонтальной, в — осевой) и мнимой (г). Сква. 312 — проверочная.

На рис. 28 приведены примеры определения падения рудных тел, встреченных в шурфе и скважине (а) и в двух скважинах, расположенных на расстоянии 220 м друг от друга (б).

В случае а питающий электрод располагался сначала в шурфе непосредственно в рудном теле; измерения производились по скв. 8, пробуренной на подсечение рудного тела и встретившей рудные интервалы на глубинах 255—260 и 274—279 м. Предстояло определить взаимосвязь и падение обнаруженных рудных тел.

График потенциала I по скв. 8 при заземлении в шурфе имеет четкий максимум на глубине 200 м. Он фиксирует тем самым отсутствие взаимосвязи рудных тел, встреченных в шурфе и скв. 8, и свидетельствует, что рудное тело имеет более пологое падение, чем предполагалось ранее, и выклинивается вблизи ствола скв. 8. Угол падения рудного тела $\sim 65^\circ$ к горизонту. При расположении питающего электрода II в скв. 8 на глубине 200 м максимум потенциала по про-

филю на поверхности фиксируется над рудным телом, вскрытом шурфом, подтверждает тем самым сделанный выше вывод.

Положение нижней кромки рудного тела по этим данным точно не определяется; можно только предполагать, что оно выклинивается в 30—40 м от ствола скв. 8.

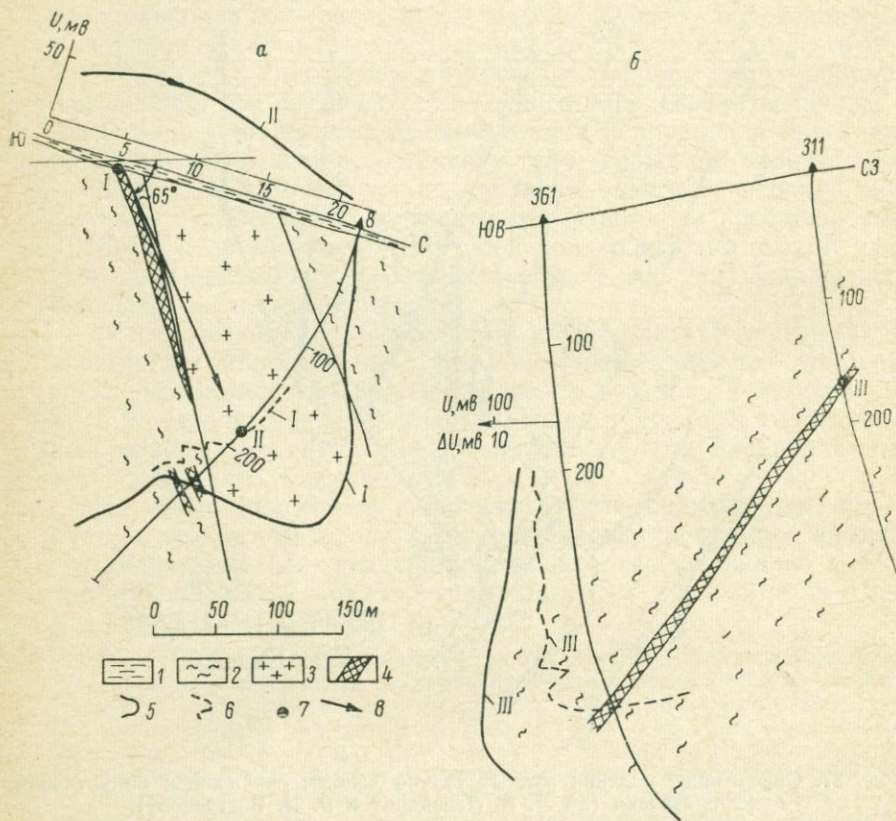


Рис. 28. Определение угла падения рудных тел, вскрытых шурфом и скважиной (а) и двумя скважинами (б) (по данным АГЭ ВКГУ).

1 — рыхлые отложения; 2 — эффузивно-осадочные породы; 3 — гранит-порфиры; 4 — сульфидные руды; кривые: 5 — потенциала, 6 — градиента потенциала; 7 — положение источников тока; 8 — падение рудного тела по данным скважинной геофизики.

В случае б при заземлении в рудный интервал скв. 311 (глубина 190 м) максимум кривой потенциала по скв. 361 и переход градиента потенциала через нуль приходится непосредственно на рудное пересечение скв. 361 (глубина 396—413 м), фиксируя принадлежность обоих пересечений к единому рудному телу и давая возможность уверенно определить его угол падения, который составляет $\sim 50^\circ$ к горизонту.

Определение размеров рудных тел

Определение размеров рудных тел по простиранию, если они представлены хорошо проводящими рудами и вскрыты в отдельных точках скважинами или горными выработ-

ками, должно проводиться при помощи скважинной электроразведки на постоянном или низкочастотном токе в варианте заряженного тела. Наиболее четкие результаты будут получены, если отдельные рудные залежи имеют вытянутую форму и крутое падение и залегают на глубинах, не превышающих их размеров по простиранию. Практически для условий медноколчеданных и полиметаллических месторождений оптимальная глубина залегания рудных тел, при которой они могут быть надежно прослежены, не превышает 80—100 м. При размерах рудных тел по простиранию в 200—300 м и глубинах до верхней кромки, превышающих приведенные выше цифры, надежность определения длины рудного тела по простиранию (при измерениях электрического поля на поверхности земли) понижается и может быть определена только приближенно. При наличии серии сближенных рудных тел успешное прослеживание каждого из них по простиранию (при возможности осуществления заземления в каждое в отдельности) будет определяться соотношением протяженности разведываемого и соседнего тела и расстояния между ними. Рудные тела будут прослеживаться раздельно, если расстояние между ними не меньше $0,3—0,5l$, где l — размер тела по длинной оси. Сближенные линзообразные тела при помощи данного метода будут прослеживаться как единое целое.

Применение метода вызванной поляризации для решения поставленной задачи чаще всего бывает ограничено, так как нередко наблюдается значительная зараженность сульфидами прилегающих к месторождениям вмещающих пород и определение в пределах аномалии собственно рудной части представляет сложную задачу.

Для прослеживания по простиранию отдельных рудных тел, залегающих на небольших глубинах (до 10—15 м), может быть успешно применено профилирование ВП (например, в варианте комбинированного профилирования) с малыми разносами питающих и приемных линий ($AO=50 \div 100$ м; $MN=5 \div 10$ м). При больших разносах питающих линий (сотни метров) возможность разделения аномалий от сближенных рудных тел ухудшается, однако глубинность исследований возрастает.

На рис. 29 приведен пример прослеживания по простиранию сульфидного рудного тела, которое залегает на глубине до 10 м, при помощи измерений по системе прямолинейных профилей потенциала поля заряженного тела. Заземление осуществлялось во вскрытую скв. 311 сульфидную руду на глубине 190 м (в основное рудное тело) и на глубине 255 м (в сопутствующее тело). При обоих заземлениях на поверхности отмечаются сильно вытянутые изолинии потенциала, на которых юго-восточная кромка основного тела четко проявляется по характерному сгущению изолиний.

Северо-западная кромка (район скв. 16, 17) проявляется менее четко в связи с влиянием на поле основного рудного тела поля от сопутствующего. При заземлении в сопутствующее рудное тело (глубина питающего электрода 255 м в скв. 311) могут быть приближенно отмечены в плане по относительному сгущению изолиний места его выклинивания, хотя основное влияние на электриче-

ское поле оказывает основное рудное тело месторождения. По приведенным данным общая длина основного тела может быть оценена в 550—600 м и сопутствующего в 200—220 м.

Необходимо отметить, что определение размеров рудного тела по простираанию по данным наземных измерений может быть только в большей или меньшей степени приближенным и тем более на-

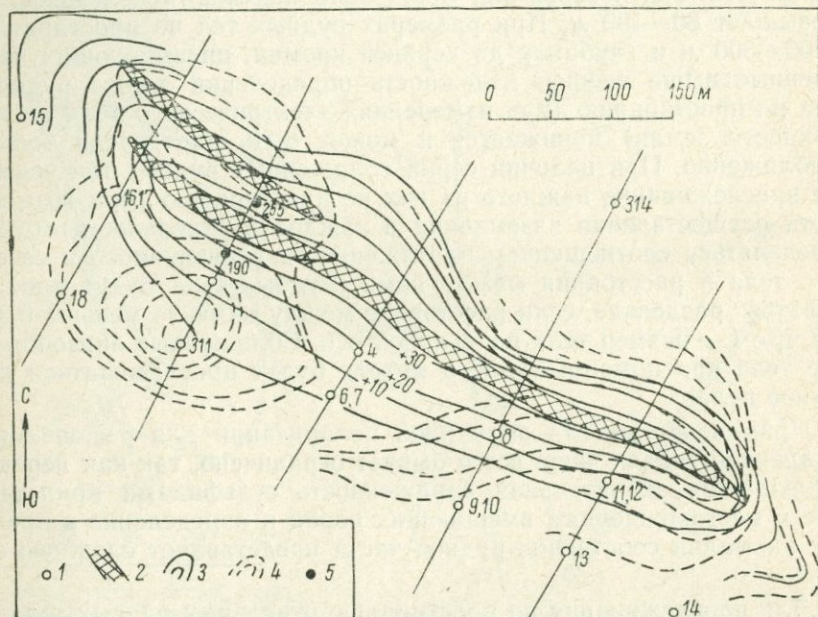


Рис. 29. Пример определения размеров по простираанию полиметаллического рудного тела (по данным АГЭ ВКГУ).

1 — буровые скважины; 2 — проекция рудного тела на поверхность; изолинии потенциала при заземлении питающего электрода в скв. 311: 3 — на глубине 190 м, 4 — на глубине 255 м; 5 — проекция точек заземлений на поверхность.

дежным, чем больше соотношение проводимости (или поляризуемости) вмещающей среды и рудного тела, меньше глубина его залегания и технические помехи, которые могут исказить результаты измерений. Для того чтобы более надежно установить положение кромок заряженного рудного тела, необходимо дополнительно провести измерения градиента потенциала по продольному профилю, проходящему над рудным телом, и воспользоваться способом, разработанным А. С. Семеновым [1962].

Для крутопадающих пластообразных тел установлена эмпирическая зависимость $\Delta = (0,3 \div 0,5)h$, где Δ — смещение экстремума кривой градиента потенциала относительно проекции кромки рудного тела на поверхности, h — глубина залегания тела. Меньший коэффициент при h следует использовать в случае, когда размер тела по падению значительно меньше его длины по простираанию,

большой коэффициент соответствует случаям, если эти размеры соизмеримы.

Зная глубину залегания исследуемого рудного тела, что уже на данной стадии работ должно быть известно, и положение экстремума кривой градиента потенциала, можно приближенно (с точностью до первых метров при небольших глубинах залегания) определить местоположение выклинивания рудного тела.

При нарушении сплошности рудного тела по простиранию будет прослеживаться та его часть (блок), в которую непосредственно произведено заземление питающего электрода. Для того чтобы проследить сплошность руд во всех блоках, необходимо заземление располагать в каждом из них, проводя последовательно наблюдения по системе профилей (в том числе и по продольным).

При пологом (горизонтальном) залегании рудного тела рассматриваемая методика прослеживания его по простиранию может оказаться неэффективной даже при небольших глубинах залегания. В этом случае следует проводить съемку методом ВП по системе прямолинейных профилей на поверхности при заземлении, расположенном в рудном теле (заряд ВП). Однако по результатам таких работ контур рудного тела в плане может быть определен лишь приближенно.

Более достоверное и точное определение линейных размеров рудных тел может быть произведено, если на участке имеются скважины, пробуренные на флангах тел и за их контуром («пустые» скважины). В этом случае проводятся собственно скважинные геофизические работы методами радиоволнового просвечивания (аппаратура СРП-6) и индукционной скважинной многочастотной электроразведки (комплект АСМИ), в меньшей степени скважинной электроразведки постоянным током и вызванной поляризации. Задача заключается в определении положения кромок рудного тела в межскважинном и заскважинном пространстве (при наличии скважин, встретивших рудное тело).

Определение положения кромок круто- и пологопадающих рудных тел производится последовательным радиопросвечиванием между парами скважин, расположенных на флангах рудного тела и в соседних буровых профилях. Допустимые интервалы между скважинами, при которых может быть надежно решена данная задача, будут варьировать в зависимости от электропроводности вмещающих пород и применяемой частоты просвечивания. Учитывая, что при применении более высоких частот (2,5 и 5 Мгц) разрешающая способность метода и точность определения кромок тела возрастает, а дальность просвечивания убывает, оптимальные расстояния, как правило, не будут превышать 100—150 м.

Положение кромок рудного тела в заскважинном пространстве может быть также определено при помощи индуктивной скважинной электроразведки. Эффективная дальность действия рассматриваемого метода зависит от величины разности приемник—передатчик, которые жестко связаны и перемещаются по сква-

жине, но, как правило, не превышает 50—60 м (при величине разности ~ 100 м).

На рис. 30 показан пример определения положения кромки колчеданно-полиметаллического рудного тела, залегающего почти горизонтально. В данном случае рассматриваются результаты, полученные по скважинам, пробуренным в соседних разведочных профилях, т. е. определяется положение кромки рудного тела на его периферии. Исследование проводилось при помощи радиопросвечивания с аппаратурой СРП-6. Положение кромки хорошо проводящего тела четко отмечается по свето-теньевым границам, полученным при различных стоянках приемника электромагнитного поля в скв. 426. Попытка решения этой задачи при помощи наблюдений потенциала поля постоянного тока не увенчалась успехом. На рис. 30 приводится кривая потенциала по скв. 426 при заземлении питающего электрода в рудном интервале в скв. 427, определить по которой положение кромки тела не представляется возможным.

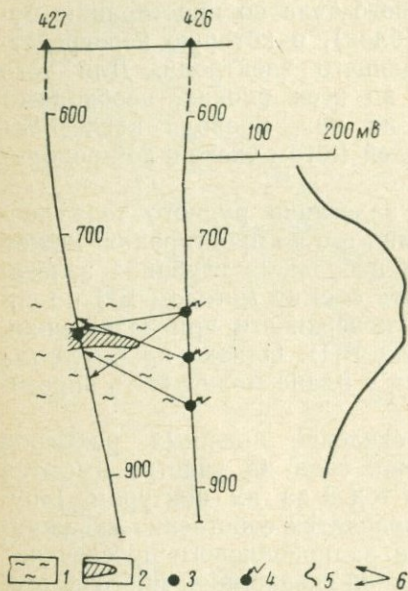


Рис. 30. Пример определения контура пологозалегающего рудного тела (по Я. Л. Гитлину).

1 — эффузивно-осадочные породы; 2 — сульфидные руды; 3 — положение питающего электрода; 4 — стоянки приемника при радиопросвечивании; 5 — кривая потенциала поля постоянного тока по скважине; 6 — границы свето-теньевых областей.

Местоположение кромки сульфидных рудных тел в околоскважинном пространстве наиболее детально может быть установлено по данным ДЭМПС с аппаратурой АСМИ. Определение проводится с использованием одиночных скважин (рудных и безрудных). Положение кромки будет устанавливаться наиболее точно, если она расположена от используемой скважины на расстоянии, не превышающем 50—80 м. Признаком существования вблизи рудной скважины кромки проводящих сульфидных руд является уменьшение аномалии при симметричном расположении генераторной и приемной рамок относительно рудного пересечения и наличия характерной аномалии на графике составляющей магнитного поля, перпендикулярной к оси скважины. По смене знаков измеряемых величин обеих взаимно перпендикулярных составляющих может быть установлено азимутальное направление на ближайшую кромку рудного тела.

Примером определения размеров рудного тела по простиранию по данным измерений с АСМИ могут служить результаты, полученные на медноколчеданном месторождении Урала. Работы проводились ВИТР (Л. В. Лебедин, Р. Н. Вострецов) совместно с УККЭ (А. А. Кожевников). Рудная залежь месторождения мощностью до 10 м имеет вытянутую, лентовидную форму и почти меридиональное простирание. Руды представлены массивными и прожилково-вкрапленными сульфидами (халькопирит, пирит, сфалерит). Основное массив-

ное рудное тело залегает в зоне прожилково-вкрапленной и вкрапленной сульфидной минерализации. Вмещающими породами являются серицито-кварцевые сланцы, альбитофиры, порфириды и другие осадочные и эффузивные породы. По данным электрокаротажа руды обладают сопротивлением от долей (массивные) до 10 ом·м (вкрапленные), вмещающие породы от 3000 до 15 000 ом·м. Основной задачей являлось определение размеров и положения в пространстве массивного рудного тела.

На рис. 31 приведен разрез по профилю скв. 2068, 2542, 2064, 2543 и 2074 и план их расположения на разведываемом участке.

Результаты наблюдений с АСМИ в варианте ДЭМПС по скв. 2064, пересекающей массивное рудное тело в интервале глубин 180—186 м и выше по разрезу несколько интервалов вкрапленных руд, показывают, что ближайшая кромка массивного рудного тела расположена от ствола скважины на расстоянии 0,15—0,2 величины разности генератор—приемник (75 м) и составляет не более 10—12 м, т. е. на значительно меньшем расстоянии, чем по геологическим данным. Это устанавливается по четкому уменьшению величины осевой составляющей аномалии в средней ее части. Характерная форма аномальных кривых вертикальной и горизонтальной составляющих вещественной компоненты электромагнитного поля показывает, что сплошное рудное тело выклинивается к северу от ствола скв. 2064. Полученные данные были подтверждены позднее проверочным бурением. По результатам работы с АСМИ по другим скважинам было установлено, что массивное рудное тело месторождения не выклинивается вблизи бурового профиля 6б, как предполагалось по геологическим данным, а протягивается дальше к югу. Оно обнаруживается в непосредственной близости от скв. 2512 и продолжается по простиранию южнее профиля 6б.

Определение размеров рудных тел по падению представляет собой наиболее трудную задачу для скважинных геофизических методов, и ее успешное решение возможно далеко не во всех случаях.

При крутых углах падения пластообразных и лентовидных сульфидных залежей, уходящих на значительные глубины (сотни метров) от дневной поверхности, при условии, что нижняя кромка тела не оконтурена скважинами, точное определение размеров тела по падению обычно вызывает большие трудности.

В этом случае можно только высказать более или менее достоверное предположение о глубине распространения рудного тела, например по характеру распределения естественного электрического поля в разрезе, изученного по скважинам. Обычно область развития отрицательных электрических потенциалов в разрезе по вертикали бывает в 3—5 раз меньше, чем область развития положительных потенциалов, связанных с нижними частями рудных тел. Нижняя граница распространения сульфидной руды будет фиксироваться резким убыванием положительных потенциалов. Следовательно, зная глубину распространения отрицательных значений естественного электрического поля, можно (весьма приближенно) сделать предположение о распространении руд на глубину [Рысс, Тясто, 1966]. В определенных условиях размеры рудных тел по падению и восстанию могут быть установлены по результатам наблюдений с АСМИ, а также с помощью радиоволнового просвечивания, скважинной электроразведки постоянным током.

Граница рудного тела по падению и восстанию при наблюдениях с АСМИ по рудной скважине проявляется в нарушении сим-

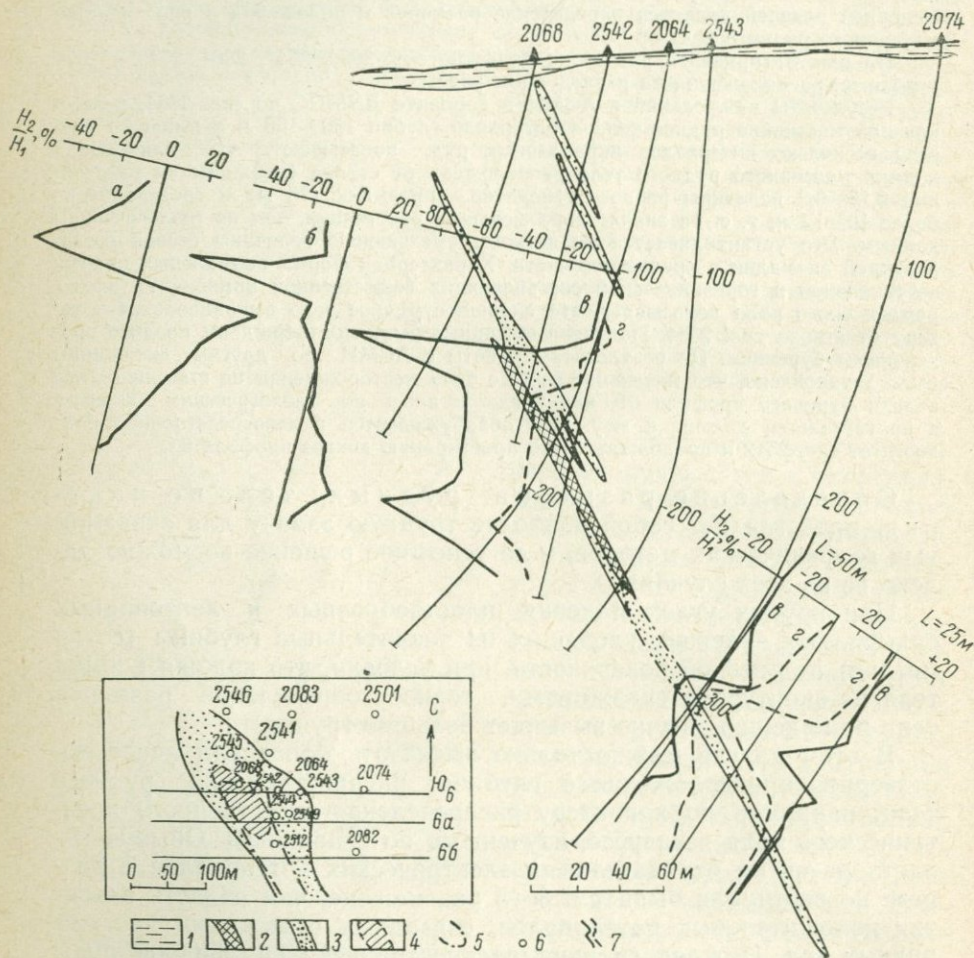


Рис. 31. Пример определения размеров рудного тела по падению по данным скважинной индуктивной электроразведки (по Л. В. Лебедкину и Р. Н. Вострецову).

1 — рыхлые отложения; 2 — массивные сульфидные руды; 3 — вкрапленные руды; 4 — первоначальное положение рудного тела в плане по геологическим данным; 5 — контур рудного тела по данным скважинной индуктивной электроразведки; 6 — буровые скважины; 7 — графики составляющих вторичного электромагнитного поля: вещественных (а — горизонтальной, б — вертикальной, в — осевой) и мнимой (z).

метрии аномалии осевой составляющей и уменьшении ее величины на фланге, соответствующем выклинке.

Примером определения размеров массивного оруденения по падению могут служить результаты наблюдений с АСМИ по скв. 2074 (рис. 31). Эта скважина в интервале глубин 300—310 м пересекла прожилково-вкрапленные руды. Наличие руд со сравнительно богатой сульфидной минерализацией на расстоянии 10—15 м от скв. 2074 устанавливается по положительной аномалии, наблюдаемой в ней на частоте 125 гц на фоне отрицательной аномалии, обусловленной пересеченной зоной вкрапленных руд. По этим данным в районе профиля 6 рудное тело имеет большие размеры по падению, чем предполагалось ранее. Уточненный контур массивного оруденения показан на рис. 31 штрих-пунктирной линией.

На рис. 32 приведен пример определения размеров по падению (т. е. местоположение нижней кромки) сульфидного рудного тела в межскважинном пространстве при помощи скважинной электроразведки постоянным током.

Скв. 421 было пересечено два интервала богатых сульфидных руд на глубинах 120—127 и 138—143 м. Руды отличаются низким сопротивлением и залегают в породах эффузивно-осадочной толщи. Скв. 426, заданная на подсечение рудных тел на большей глубине, встретила только зону бедной сульфидной минерализации (интервал 225—235 м). Определение положения рудных тел в межскважинном пространстве проводилось путем измерения по скв. 426 потенциала от источника тока, последовательно помещаемых сначала в положение I (первый рудный интервал), а затем в положение II (второй рудный интервал). Кривая потенциала по скв. 426 от источника тока I характеризуется нормальным положением максимума и свидетельствует, что верхний рудный интервал не имеет сколько-нибудь значительного распространения в сторону скв. 426. Кривая II, наоборот, имеет резко смещенный на глубину максимум, совпадающий с положением по скважине зоны безрудной сульфидной минерализации. Полученные данные достоверно свидетельствуют, что богатое рудное тело, встреченное скв. 421, на глубине 138—143 м протягивается к скв. 426 и обрывается в непосредственной близости от ее ствола. Позже этот вывод был подтвержден результатами бурения скважин на соседних профилях.

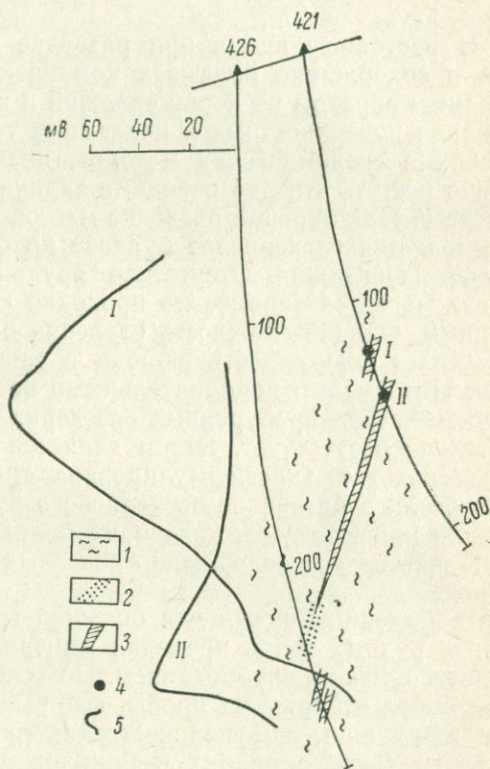


Рис. 32. Пример определения контура крутопадающего рудного тела в межскважинном пространстве (по Я. Л. Гитлину).

1 — эффузивно-осадочные породы; 2 — вкрапленность сульфидов; 3 — сульфидные руды; 4 — положение питающего электрода; 5 — кривые потенциала поля постоянного тока по скважинам.

При пологом залегании наиболее эффективным методом определения мест выклинивания рудных тел по падению является радиоволновое просвечивание, а также наблюдения с АСМИ.

Определение мощности рудных тел и содержания полезных компонентов

В настоящее время при разведке видимая мощность рудных тел и содержание полезных компонентов в рудах определяются главным образом по керну скважин и путем документации и опробования поверхностных и подземных горных выработок. Геофизических и геохимических методов, позволяющих совершенно уверенно решать эти две основные задачи подсчета запасов, пока не имеется. При буровой разведке месторождений достаточно широко применяется бескерновое бурение по безрудным интервалам разведочных скважин. Отсутствие оруденения на этих интервалах предполагается заранее до проходки скважины по геологическим данным. Однако сложность строения большинства месторождений допускает возможность ошибки в таком геологическом заключении. Необходимо дополнительными исследованиями доказать, что оруденение на пробуренных без керна интервалах скважин действительно отсутствует. Это и является одной из задач каротажа. Она может быть сформулирована следующим образом: присутствуют ли в интервале бескернового бурения оруденелые участки, а если присутствуют, каково их положение, мощность и хотя бы приблизительное содержание полезных компонентов в оруденелых породах.

В настоящее время для большой группы месторождений положение рудных тел в пределах минерализованных пород устанавливается только опробованием. По всей мощности минерализованных пород отбираются пробы, которые анализируются химическими или чаще полуколичественными методами спектрального анализа. Далее в пробах с приближающимся к промышленному содержанию главных полезных компонентов производится их количественное (обычно химическим анализом) определение. Возникает потребность упростить этот процесс, выделив какими-либо простыми и экономичными способами участки, где непосредственно можно ожидать промышленное оруденение, т. е. резко сократить объем опробования и исключить операцию разбраковки проб методами спектрального анализа. Важность такой методики подчеркивается тем, что отношение мощности рудных тел к мощности рудных зон, вмещающих эти тела, обычно не больше 0,2—0,5. Например, для одного из оловорудных районов Дальнего Востока мощность рудных тел не превышает обычно 5—15 м, тогда как мощность подвергающихся опробованию рудных зон составляет 30—50 м. Разработанные и разрабатываемые в настоящее время способы определения содержания полезных компонентов методами каротажа в ряде случаев позволяют решить эту задачу.

Определение содержания полезных компонентов в рудах в естественном залегании с чувствительностью и точностью, достаточными для подсчета запасов (определения средних содержаний) и правильного оконтуривания рудных тел (достаточно точные единичные определения содержаний), каротажными методами в настоящее время находится в стадии разработки.

Поскольку все перечисленные геологические задачи включают определение мощности рудных тел и качественного состава руд, ниже и рассматриваются возможности такого определения методами каротажа последовательно. В настоящем разделе не представлены детали практического проведения этих работ и методики интерпретации результатов. Все это детально изложено в специальных работах [Очкур, 1968; Справочник геофизика, т. II, 1961 (Мейер, Нахабцев, 1965; Филиппов, 1966) и др.].

Свинец. Определение содержания свинца в рудах может быть произведено следующими методами: селективным гамма-гамма-каротажем в интегральном (ГГК-С) и спектрометрическом (ГГК-СС) вариантах, плотностным (ГГК-П) и рентген-радиометрическим каротажем (РРК). Аппаратура для РРК и ГГК-СС в настоящее время находится в стадии изготовления опытных образцов и подготовки к серийному производству. Поэтому прежде всего следует остановиться на обеспеченном серийной аппаратурой методе ГГК-С.

Определение содержания свинца методом ГГК-С в интегральном варианте может быть произведено с чувствительностью до первых десятых долей процента. Относительная погрешность определения в простых по составу рудах при содержании свинца в руде менее 3—5% составляет около 15—20% (рис. 33). При содержании свинца в рудах выше 5% точность определения его уменьшается. При наличии в рудах кроме свинца бария, железа, сурьмы, меди и цинка методом ГГК-С определяется только суммарное содержание всех этих металлов. Это резко ограничивает возможности применения метода, поскольку большинство свинцовых месторождений полиметаллические. Есть возможности определения содержания свинца и в полиметаллических и свинцово-цинковых рудах, но только в том случае, если содержание свинца коррелируется с содержанием суммы металлов или цинка, и эта зависимость заранее установлена [Кошелев и др., 1966]. В ряде случаев целесообразно применять совместно методы ГГК-С и ГГК-П, поскольку при высоком содержании свинца в рудах определение его более точно можно выполнить по данным ГГК-П [Кошелев и др., 1967] и при этом можно учесть уменьшающее точность определения свинца изменение плотности горных пород и руд [Вольфштейн и др., 1962].

Пример определения содержания свинца в рудах одного из месторождений Приморья методами ГГК-С и ГГК-П приведен на рис. 34. Определение содержания свинца методом ГГК-СС может производиться с относительной ошибкой единичных наблюдений 10—15% (порог чувствительности 0,2—0,3% при содержании

свинца в рудах 0,5—0,6%). Так же, как и метод ГГК-С, метод ГГК-СС позволяет определять содержание свинца только в свинцовых или полиметаллических рудах при наличии корреляционной

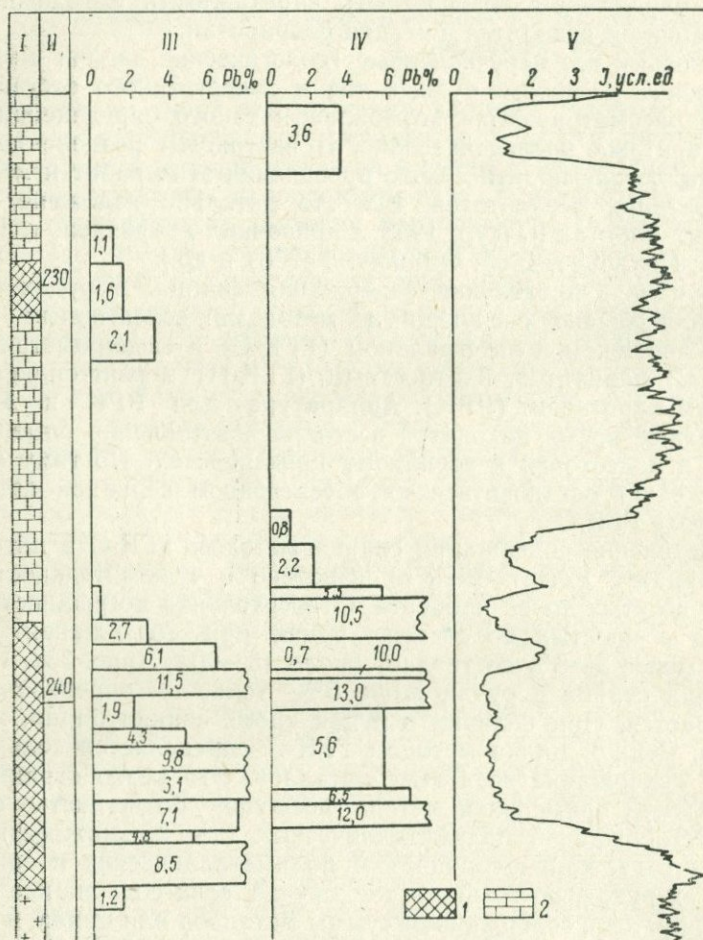


Рис. 33. Пример сравнения данных ГГК-С и химических анализов на свинцовом месторождении (по О. К. Владимирову).

I — геологическая колонка по данным бурения; *II* — глубина, м; содержание свинца по данным: *III* — химического анализа, *IV* — каротажа; *V* — диаграмма ГГК-С.
1 — рудные тела; 2 — известняки.

зависимости между свинцом и суммой металлов. Однако на результатах измерений этим методом меньше сказывается изменение плотности и вещественного состава, что повышает разрешающую способность метода ГГК-СС по сравнению с ГГК-С. При отсутствии корреляции между содержанием свинца и суммой металлов

с помощью этого метода можно выделить тип руды. Например, можно отличить свинцовые руды с содержанием свинца больше 0,5% от баритовых, пирит-халькопиритовых, сфалеритовых руд и зон пиритизации [Кошелев и др., 1966].

Относительная погрешность определения свинца в руде методом РРК составляет 15—20% (порог чувствительности 0,1—0,2%). При этом возможно определение содержания свинца и в полиметаллических рудах (Мейер, 1967). Статистических представительных данных по сравнению результатов определения содержания свинца отмеченными методами с данными химического анализа нет. Однако отдельные работы в этом направлении свидетельствуют об их сходимости. Например, при определении свинца по 30 рудным интервалам среднее содержание по данным РРК и химического анализа проб оказались соответственно равны 0,93 и 0,94% [Очкур, 1968]. На рис. 35 приведены результаты сопоставления данных ГГК-СС, РРК и опробования керн одной из скважин полиметаллического месторождения. Содержание свинца по результатам ГГК-СС, РРК и химического анализа проб на десятиметровом интервале оказались соответственно равны 2,59, 1,24 и 1,17%, что свидетельствует о близких результатах по данным опробования и РРК.

Медь. Для определения содержания меди в рудах можно применять каротаж наведенной активности (КНА). Аппаратура для проведения работ этим методом выпускается серийно. Чувствительность метода 0,3—0,5% меди, средняя относительная ошибка 10—15% [Кошелев и др., 1966]. Наиболее благоприятны для определения содержания меди в рудах медноколчеданные месторождения с достаточно равномерным распределением меди и низким содержанием алюминия и кремния. На рис. 36 приведен пример определения содержания меди методом КНА. Для сложных полиметаллических руд даже для выделения только типов руд необходимо комплексирование каротажных методов (рис. 37). Методы ГГК-П

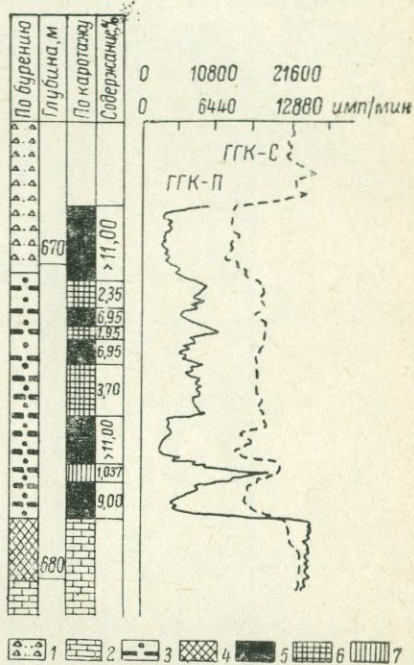


Рис. 34. Пример количественной интерпретации данных ГГК-П и ГГК-С на полиметаллическом месторождении в Приморье (по данным каротажной партии ПГУ).

1 — брекчия; 2 — известняк; 3 — кварц-сульфидная зона; 4 — скарны; интервалы с содержанием свинца, %; 5 — 13, 6 — 6, 7 — 0,1—1,0.

и ГГК-С позволяют выделить сплошные и вкрапленные руды, ГГК-СС — разделить руды на полиметаллические и пирит-халькопиритовые, КНА — судить о распределении медной минерализации и наличии промышленного содержания меди.

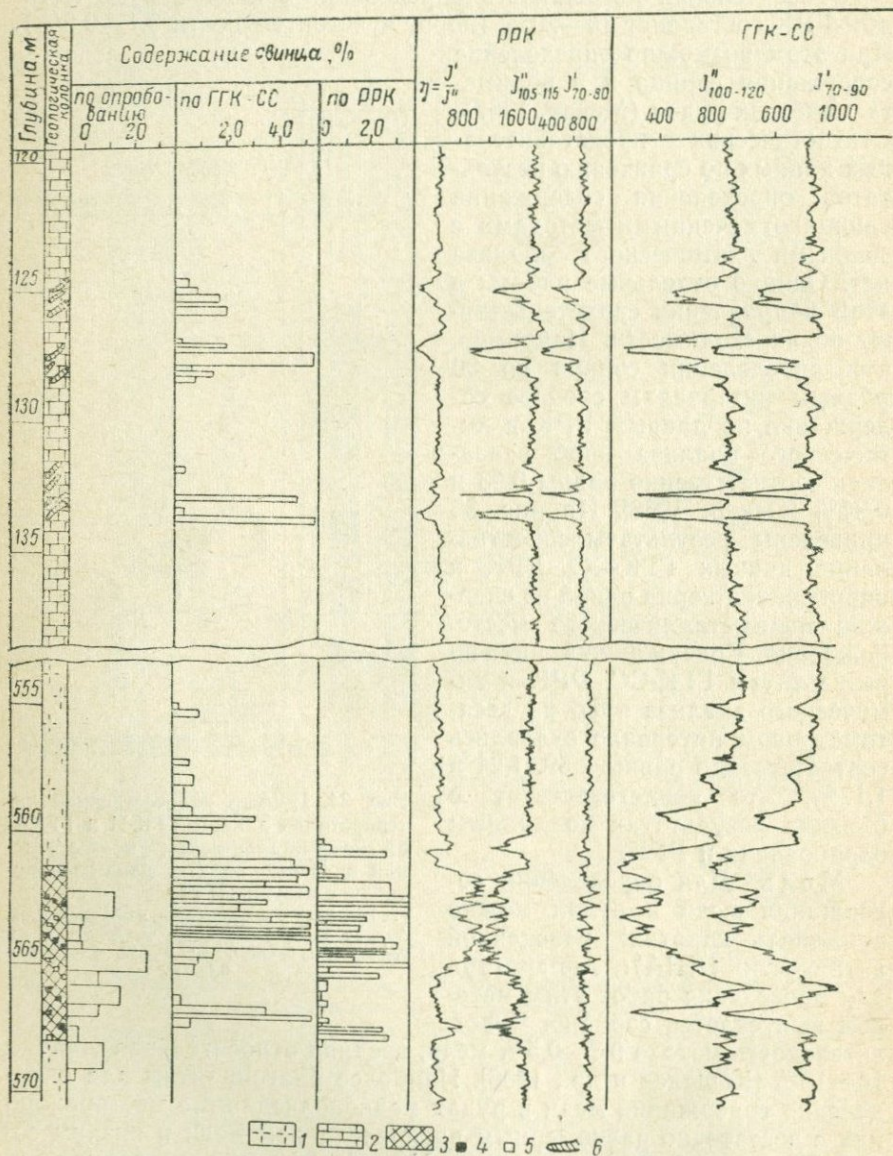


Рис. 35. Пример сравнения результатов РРК, ГГК-СС и опробования на полиметаллическом месторождении, Таджикистан (по А. П. Очкуру).
 1 — гранодиорит-порфиры; 2 — известняки; 3 — гранат-пироксеновые скарны; 4 — галенит; 5 — сфалерит; 6 — прожилки барита.

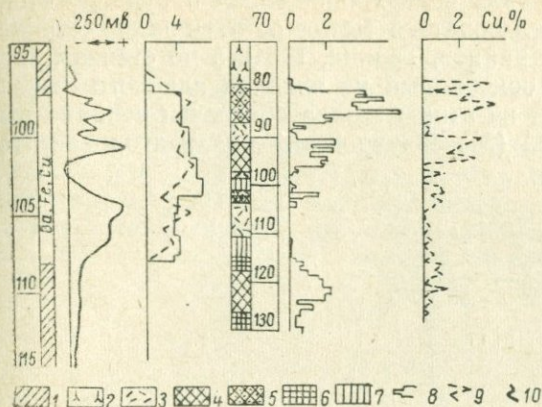


Рис. 36. Пример сравнения результатов опробования и количественной интерпретации данных КНА на медном месторождении (по В. Е. Бабенкову).

1 — вмещающие породы; 2 — порфириты; 3 — альбитофиры; 4 — медные колчеданы; 5 — медно-цинковые колчеданы; 6 — серные колчеданы; 7 — вкрапленные руды; 8 — опробование керна; 9 — активационный каротаж; 10 — диаграмма ПС.

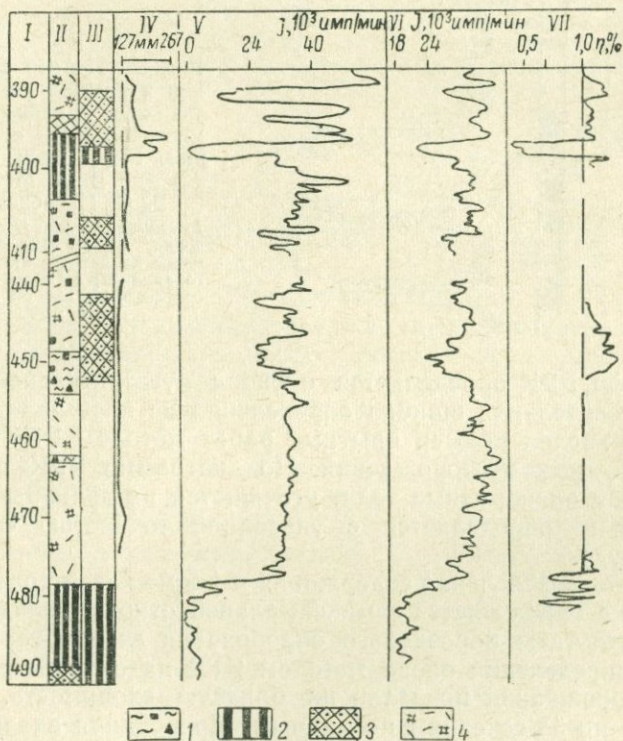


Рис. 37. Пример разделения руд по типам методами ГГК-П, ГГК-С на полиметаллическом месторождении, Рудный Алтай (по И. П. Кошелеву).

I — глубина, м; II — геологическая колонка; III — колонка по каротажу; IV — кавернограмма; Диаграмма: V — ГГК-С; VI — ГГК-П; VII — ГГК-СС.

1 — вкрапленность пирита и халькопирита; 2 — сплошная полиметаллическая руда; 3 — вкрапленная медноколчеданная руда; 4 — лава кварцевых порфиров.

Олово. Для определения содержания олова в руде по стенкам скважин может использоваться метод рентген-радиометрического каротажа (РРК) [Крайнов, Травин, 1964], а по стенкам горных выработок — метод, основанный на явлении ядерного гамма-резонанса (ЯГР). Второй из этих методов обеспечен серийно выпускающейся аппаратурой (Мессбауэровский анализатор касситерита — МАК-1).

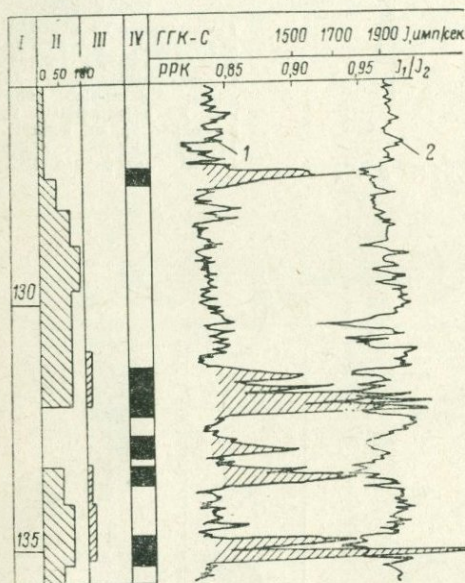


Рис. 38. Пример выделения в разрезе скважины участков оловорудной минерализации с помощью РРК (1) и ГГК-С (2) (по В. А. Мейеру и В. С. Нахабцеву).

I — глубина, м; *II* — выход керна, %; *III* — содержание олова по данным химического анализа; *IV* — интервалы, обогащенные оловом по данным РРК.

Методом РРК определяется олово с чувствительностью 0,1—0,2%, относительная ошибка определений не превышает 20%. На рис. 38 приведен пример опытных работ методом РРК на одном из оловорудных месторождений. По диаграмме РРК однозначно выделяются оловорудные тела, уточняются их границы по стенке скважины и определяется с указанной точностью содержание олова в руде.

Точность определения содержания в форме касситерита методом ЯГР также определяется с максимальной относительной ошибкой 20%. Результаты бороздового опробования стенки горной выработки и определения олова методом ЯГР на одном из оловорудных месторождений показали их близкую сходимость. Средняя мощность по 38 сечениям по данным опробования оказалась равной 0,739, по данным метода ЯГР — 0,804 м, среднее содержание олова соответственно равно 1,77 и 1,89%. Пример, иллюстрирующий возможности метода ЯГР, приведен на рис. 39.

Перечисленные выше возможности использования каротажных методов для определения содержания свинца, меди и олова в рудах сведены в табл. 8.

Как следует из табл. 8, применение этих методов для решения первых двух разведочных задач (контроль за пропуском рудных тел при бескерновом бурении и выделение рудных интервалов в пределах рудных зон с целью сокращения объема опробования) вполне обоснованно. Однако для свинцовых и медных месторождений оно значительно ограничивается требованием к простоте состава руд. Для оловорудных и отчасти свинцовых месторождений широкое внедрение ядерных методов задерживается также из-за отсутствия серийно выпускаемой аппаратуры. Точность каро-

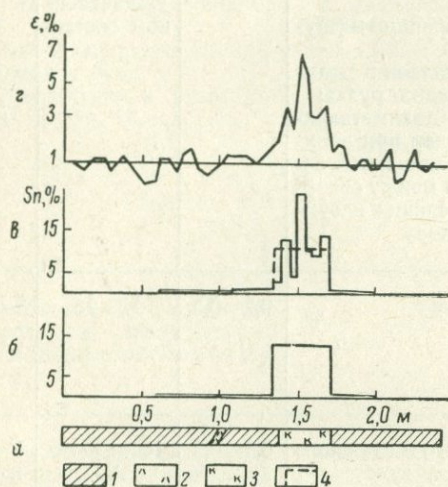


Рис. 39. Пример сравнения результатов определения олова в касситеритовой жиле методами ЯГР с аппаратурой МАК-1 и опробования, Дальний Восток (по В. М. Запорожцу): а — геологическая зарисовка по линии наблюдений; содержание олова: б — по бороздovому опробованию, в — по методу ЯГР; г — диаграмма метода ЯГР.

1 — песчаники; 2 — кварцевая жила; 3 — касситерит; 4 — среднее содержание олова в интервале.

тажных методов определения содержания рассмотренных элементов еще недостаточна для замены существующих методов (согласно требованиям предельно допустимые средние погрешности рассмотренных классов содержания элементов колеблются в пределах 3—7%).

Для грубой количественной оценки руд и изучения их текстуры применяются некоторые методы электрокаротажа: метод скользящих контактов (МСК) и метод электродных потенциалов (МЭП). Работы подобного рода выполнялись в основном на медных и свинцово-цинковых месторождениях с рудами существенно сульфидного состава (по данным О. К. Владимирова, ВИРГ).

На Рудном Алтае данные МСК использовались для грубой оценки количества сульфидов в руде. Аномалии тока величиной в 0,8—0,9 от величины тока в обсадной трубе приняты соответствующими сплошным или богатым вкрапленным и прожилковым рудам; аномалии величиной 0,5—0,8 — рудам среднего качества, а величиной менее 0,5 — бедным прожилково-вкрапленным.

Данные МЭП позволяют в большинстве случаев разделять сплошные руды и зоны сульфидной вкрапленности. На некоторых медноколчеданных месторождениях Южного Урала применяется приближенная оценка качества руд по диаграммам МЭП. Счита-

Характеристика каротажных методов, применяемых для по данным А. П. Крайнова (1968), В. А. Мейера (1967),

Метод	Область применения	Чувствительность, %	Относительная ошибка единичных определений, %	Глубина
ГГК-С	Определение концентраций в пробах и при естественном залегании; 1) свинец в свинцовых рудах; 2) сумма металлов в полиметаллических рудах; 3) свинец в полиметаллических рудах при наличии корреляционной зависимости между содержаниями свинца и суммы металлов	$n \cdot 0,1$	15—20 при простом вещественном составе руд	5—15 см
ГГК-СС	То же	0,2—0,3	10—15	5—15 см
РРК	В рудах простого и сложного состава: 1) свинец; 2) олово	0,1—0,2	10—15 до 20	1—2 см $n \cdot 1$ мм
КНА	Медь в пробах и в рудах в естественном залегании	0,3—0,5	10—15	$n \cdot 1$ см
ЯГР (метод, основанный на эффекте Мессбауэра)	Олово в стенках горных выработок и в пробах	~0,1	До 20	~1 мм

определения содержания некоторых рудных элементов А. П. Очура [1968], Е. М. Филиппова (1962) и др.

Мешающие факторы	Пути устранения мешающих факторов	Аппаратура
1. Изменение диаметра скважин, плотности бурового раствора и толщины глинистой корки. 2. Изменение плотности горных пород и руд. 3. Присутствие в рудах металлов: Ва, Fe, Sb, Cu, Zn	1. Применение кавернометрии. 2. Применение совместно с ГГК-С плотностного каротажа ГГК-П либо использование специальных зондов. 3. Установление корреляционной зависимости между содержаниями Рв и суммы металлов	РСК-3, РСК-М, РСР-2, ДРСТ-2; проходит испытания ДРСА
Зависимость от изменения плотности и вещественного состава меньше, чем для ГГК-С	То же	Испытываются опытные образцы гамма-каротажного спектрометра
1. Изменение диаметра скважин, толщины глинистой корки. 2. Изменение плотности и вещественного состава руд влияет меньше, чем в методике ГГК-СС	Применение способа спектральных отношений и разрабатываемого в настоящее время способа нормирования (Мейер, 1967)	То же
1. Кавернозность стенок скважин. 2. Наличие и изменение минерализации бурового раствора. 3. Изменения влагонасыщения пород. 4. Активирование нескольких изотопов (Al, Na, Si)	Проведение совместно с КНА кавернометрии, резистивиметрии, а в обсаженных скважинах нейтронных методов каротажа	РСК-3, РСК-М; проходит испытания ГКС
1. Неровности, обводненность или загрязнение стенок горных выработок. 2. Неравномерное распределение касситерита в рудах	Обработка стенок горных выработок перед началом измерений (очистка и выравнивание)	МАК-1

ется, что максимальные положительные значения электродных потенциалов (150—250 мв) соответствуют массивным рудам, значения меньше 100 мв — зонам, обогащенным сульфидами.

На рис. 40 приведен пример разделения руд по типам: сплошные медные, богатые вкрапленные и вкрапленные. На графиках ка-

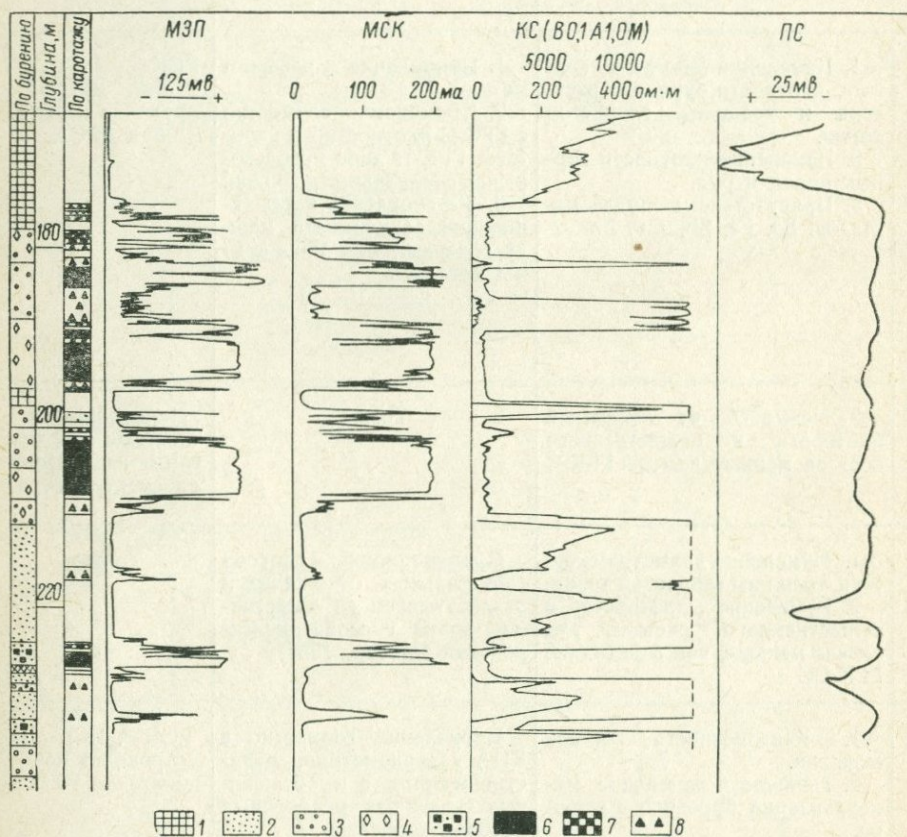


Рис. 40. Пример разделения руд по типам с помощью методов электрокаротажа на медном месторождении, Южный Казахстан (по О. К. Владимирову).

1 — роговики; 2 — песчаники; 3 — скарны; вкрапленность: 4 — халькопирита, 5 — пирита; руды: 6 — сплошные медные, 7 — богатые вкрапленные, 8 — вкрапленные.

жущегося удельного сопротивления зоны сульфидной минерализации выделяются обобщенно, а по диаграммам МЭП и МСК разделение руд на типы может быть выполнено достаточно уверенно.

Уточнение мощности рудного тела, пересеченного скважиной, может быть проведено при помощи различных методов каротажа. Методика и способ определения зависят от типа руд (массивные и прожилково-вкрапленные, вкрапленные), их минералогического

состава, степени окисления и т. п. Комплекс каротажных методов, с помощью которых решаются поставленные задачи, определяется, кроме того, наличием или отсутствием в изучаемом разрезе пород, сходных по их физическим свойствам с рудными телами.

При отсутствии в разрезе углисто-глинистых образований или зон пиритизации мощность сульфидных рудных тел с массивной текстурой однозначно определяется по параметру электропроводности δ , электродному потенциалу, кажущемуся удельному сопротивлению ρ_k , с помощью методов МСК, МЭП, КС, по наличию на диаграммах МСК и МЭП резких максимумов силы тока I и электродного потенциала U_0 , а также минимумов ρ_k на диаграммах КС.

Наиболее четкие результаты при определении мощности рудных тел с массивной текстурой руд дают методы скользящих контактов и электродных потенциалов. В большинстве случаев предпочтительнее применять метод скользящих контактов в варианте токового каротажа из-за его простоты по сравнению с МЭП.

Мощность прожилковых и прожилково-вкрапленных руд, обладающих повышенной электропроводностью, успешно определяется с помощью тех же методов по аномалиям, аналогичным тем, которые наблюдаются при исследовании массивных руд, но несколько меньшим по амплитуде.

Детали внутреннего строения прожилково-вкрапленных рудных тел (выявление безрудных прослоев, участков массивных руд) могут быть изучены по диаграммам МЭП, градиента ПС, МСК.

Вкрапленные руды достаточно уверенно локализируются в разрезе с помощью методов ЭП, ВП, ПС. В первую очередь следует применять метод ЭП, учитывая его простоту и дешевизну по сравнению с методом ВП. При использовании методов ВП и ПС границы вкрапленных руд выделяются, как правило, с меньшей четкостью.

На рис. 41 приведен пример уточнения мощности рудных тел в разрезе (по скв. 279) на одном из полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Рудные интервалы, выделенные по бурению и каротажу, не совпадают по положению относительно друг друга. Разница достигает нескольких метров при мощности рудных тел в разрезе данной скважины 1—3 м.

Интервалы с аномальными значениями электродного потенциала и силы тока, внутри которых нет участков с фоновым значением последних, соответствуют рудным телам с массивной текстурой руд. Кроме массивных руд в разрезе присутствуют и вкрапленные, что однозначно определяется по характеру диаграмм МЭП и МСК [графики изрезанные, значения внутри интервала изменяются от фоновых ($U_0=10$ мв, $I=50$ ма) до аномальных ($U_0=300\div 400$ мв, $I=150\div 200$ ма)]. Границы вкрапленных руд отмечаются, как это видно из приведенного примера, значительно менее четко, чем контакты массивных руд, что объясняется разницей текстур руд. Диаграмма ГГК-П характеризует руды по плотности, подтверждая и дополняя данные МЭП и МСК относительно текстуры руд и их мощности.

Наличие в разрезе углистых отложений, характеризующихся повышенными значениями электронной проводимости, поляризуемости и естественного гамма-излучения, мешает однозначности вы-

деления в разрезе и определению мощности рудных тел методами, использующими перечисленные параметры. Для разделения аномалий и определения мощности рудных тел необходимо приме-

нять радиоактивные методы каротажа: ГГК, РРК, КНА (АК), ННК-Т.

Ранее на рис. 17 был приведен пример разделения аномалий электрокаротажа, вызванных углесто-глинистыми образованиями и рудными телами полиметаллического состава, и определения мощности последних с помощью ГГК-С. В результате совместной интерпретации данных МЭП, МСК, ГГК-С определены мощности рудных тел и изучены детали их строения.

Наличие в разрезе минерализованных зон, по физическим свойствам сходных с рудными телами (зоны пиритизации на полиметаллических, медноколчеданных и других сульфидных месторождениях), но по контуру не совпадающих с ними, затрудняет определение мощности рудных тел и усложняет интерпретацию каротажных диаграмм.

Применение методов электрического каротажа для определения мощности рудных тел в этих условиях не дает возможности решить задачу однозначно. В таких случаях в комплекс должны быть введены методы, регистрирующие непосредственно наличие полезного компонента: каротаж наведенной активности (КНА) на медь, рентген-радиометрический каротаж (РРК) или гамма-гамма-каротаж на свинец, рентген-радиометрический каротаж на олово, нейтрон-нейтронный каротаж по тепловым нейтронам (ННК-Т) на кадмий.

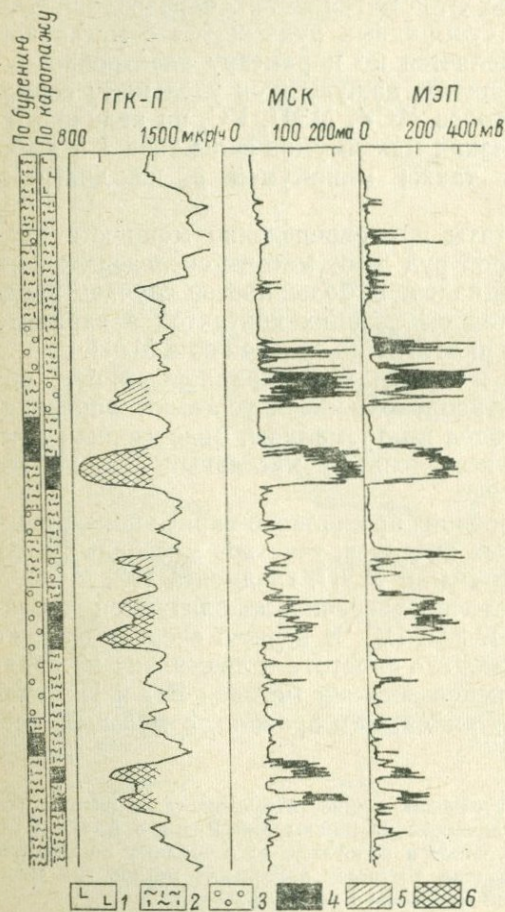


Рис. 41. Пример выделения рудных интервалов по данным комплексных каротажных исследований на полиметаллическом месторождении, Рудный Алтай (по А. Н. Макарову).

1 — эффузивы основного состава; 2 — сланцы; 3 — вкрапленные руды; 4 — сплошные полиметаллические руды; аномалии ГГК-П, соответствующие рудам: 5 — вкрапленным, 6 — массивным.

регистрирующие непосредственно наличие полезного компонента: каротаж наведенной активности (КНА) на медь, рентген-радиометрический каротаж (РРК) или гамма-гамма-каротаж на свинец, рентген-радиометрический каротаж на олово, нейтрон-нейтронный каротаж по тепловым нейтронам (ННК-Т) на кадмий.

Пример определения мощности сульфидно-касситеритовых рудных тел в интервале зоны сульфидной минерализации приведен на рис. 42. На некоторых сульфидно-касситеритовых месторождениях Якутии электрометрические методы эффективны только для выделения зон сульфидной минерализации, частично окисленных. Выявление внутри этих зон сульфидно-касситеритовых жил и определение их мощности производится по результатам ГГК-П и ГК,

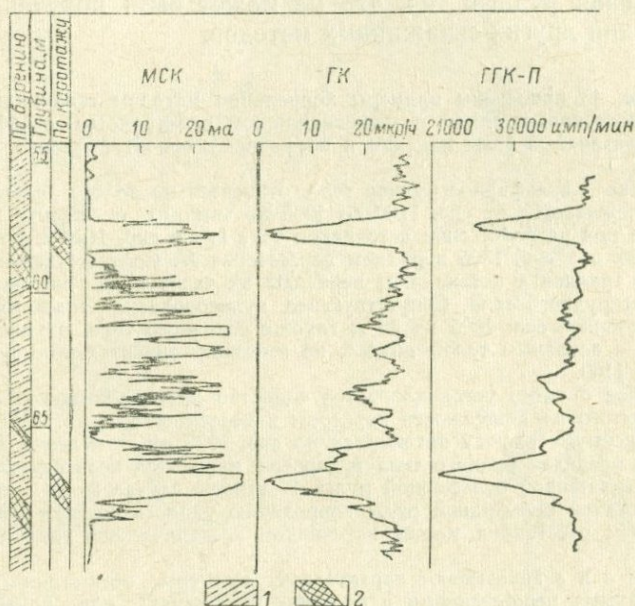


Рис. 42. Пример выделения рудных интервалов по данным комплексных каротажных исследований на оловянном месторождении, Якутия (по О. К. Владимирову).

1—глинистые сланцы; 2—сульфидно-касситеритовые жилы в зоне сульфидной минерализации.

на диаграммах которых рудные жилы выделяются по резким минимумам интенсивности естественного и рассеянного гамма-излучения [Дахнов, 1962].

Увязка рудных пересечений, определение формы и деталей строения рудных тел

Решение указанных задач на рассматриваемых типах рудных месторождений может быть с успехом осуществлено при помощи скважинных геофизических методов: радиоволнового просвечивания, скважинной электроразведки постоянным током (в варианте корреляции) и частично скважинной индуктивной электроразведки. Метод ВП на этой стадии разведочных работ находит меньшее применение, хотя в ряде случаев (при отсут-

ствии четкой разницы в электрическом сопротивлении между рудным телом и вмещающими породами) может дать неплохие практические результаты по прослеживанию зон сульфидной минерализации в межскважинном пространстве.

В случае хорошо проводящих сульфидных руд предпочтение следует отдать радиоволновому просвечиванию (СРП-6), как методу, обладающему наибольшей разрешающей способностью и принципиальной возможностью выделения морфологических деталей строения рудных тел, что не может быть получено при использовании других скважинных методов.

На рис. 43 приведены примеры корреляции методом скважинной электро-разведки постоянным током в межскважинном пространстве сульфидных тел, имеющих различные углы падения и по разному ориентированных в пространстве.

В случае *a* сульфидное рудное тело, относительно полого залегающее в разрезе, прослеживается от скв. 1169 до 1305 по четкому смещению максимумов потенциала при расположении источников тока как в скв. 1169 в рудном пересечении *I*, так и в скв. 1305 в рудном пересечении *II*. Соответственно ведут себя и графики градиента потенциала; переходы их через нуль располагаются на пересечении рудного тела. Сопутствующее кулисообразно залегающее рудное тело, встреченное скв. 1305 на 35 м глубже основного тела, отмечается как не связанный с основным телом объект, не имеющий значительного распространения к скв. 1169.

В случае *б* четко устанавливается единство крутопадающего сульфидного тела, вскрытого на поверхности карьером и пересеченного скв. 1277 на глубине 900 м. Максимум графика потенциала по скв. 1277 от заземления *III*, расположенного в пределах рудного тела в карьере, находится непосредственно на пересечении скважиной сульфидной руды. В данном случае из-за высокой проводимости богатой сульфидной руды корреляцию удалось осуществить на весьма значительном расстоянии между источником электрического тока и линией измерения.

Случаи *в* и *г* показывают характерные примеры отсутствия взаимосвязи между рудными пересечениями в соседних скважинах: при крутом падении предполагаемого рудного тела (*в*) и почти горизонтальном (*г*). В случае *в* графики потенциала по скв. 398 и 395 близки по форме к «нормальным» при расположении источников тока в рудных интервалах как в скв. 398 *IV*, так и в скв. 395 *V*. В случае *г* по скв. 140 получен график потенциала (источник тока *VI* в рудном интервале в скв. 149), характерный для отсутствия сплошности рудного тела. В то же время полученный результат свидетельствует, что мощное рудное тело, встреченное скв. 140, должно протягиваться на значительное расстояние в заскважинное пространство [Гитлин, 1968].

На рис. 44 приведены примеры определения морфологии рудных тел и увязки между собой рудных пересечений в различных скважинах при помощи радиоволнового просвечивания на колчеданно-полиметаллическом месторождении (Рудный Алтай). Разведка месторождения проводилась при помощи бурения по сети 50×50 и на флангах 100×100 м. Определение морфологии рудных тел и увязка их в разрезах только по данным бурения скважин (даже при такой густой сети) представляла значительные трудности. Вскрытые скв. 57, 96, 63 и 80 сульфидные руды были отнесены к одним и тем же рудным телам, а между скв. 80 и 99 предполагалось минерализованное сульфидами тектоническое нарушение. При помощи радиоволнового просвечивания между скв. 63 и 80 установлены четкие границы рудных тел, вскрытых обеими скважинами, и показано, что рудные пересечения принадлежат двум разобренным рудным телам, отличающимся сложной ветвящейся формой (рис. 44, б). Определено также строение рудного тела в пространстве между скв. 57 и 96 и доказана сплошность рудного тела между скв. 96 и 63. В пространстве между скв. 80 и 99 установлены места выклинивания основного и параллельного рудных тел.

Для уточнения разреза и проверки полученных данных была пробурена скв. 111, которая также была использована для проведения радиопросвечивания. Как видно на рис. 44, б, строение рудных тел по данным скв. 111 только в деталях отличается от данных геофизических исследований в скв. 63 и 80.

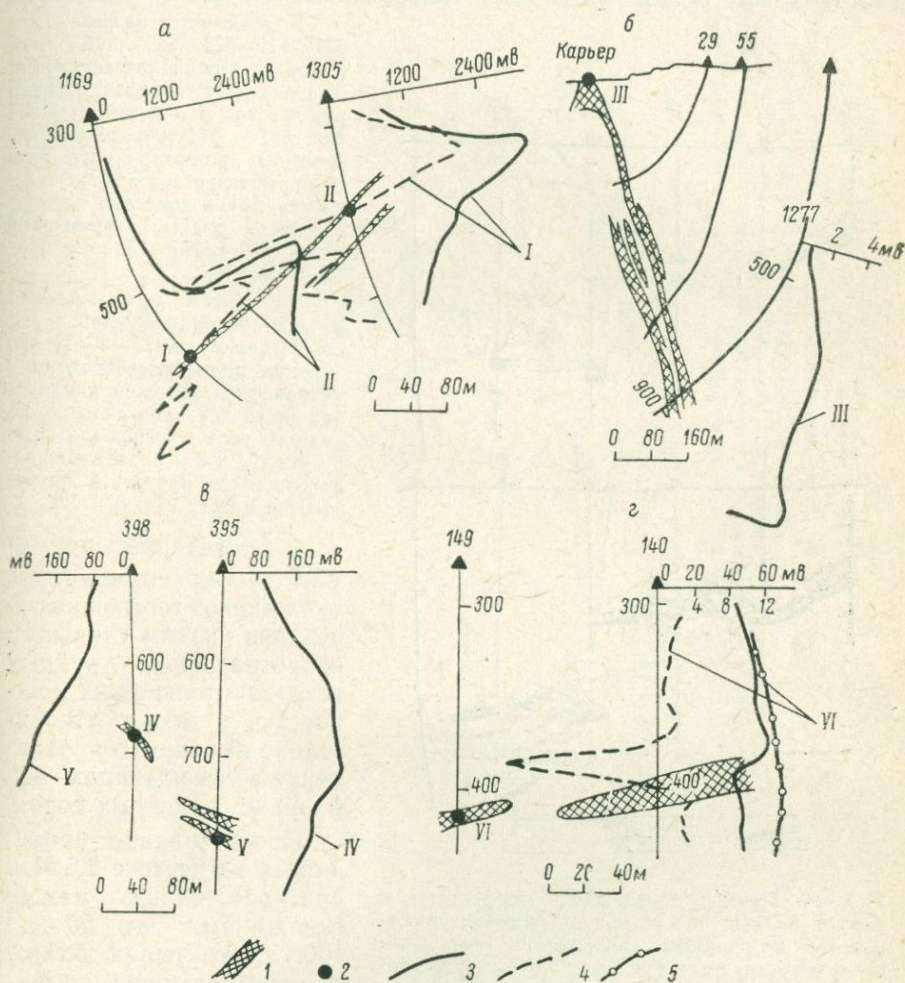


Рис. 43. Примеры определения сплошности сульфидных рудных тел в межскважинном пространстве по данным скважинной электроразведки постоянным током (по Я. Л. Гитлину): а — пологое залегание; б — крутое падение; в и г — примеры отсутствия взаимосвязи рудных пересечений.

1 — сульфидные руды; 2 — положение источника постоянного тока; 3 — потенциала, 4 — градиента потенциала, 5 — «нормальная» потенциала.

При значительных мощностях рудных тел, имеющих в сечениях изометрическую неправильную форму, оконтуривание их в межскважинном пространстве в плоскости буровых разрезов и между профилями производится при помощи радиоволнового просвечи-

вания, проводимого по общепринятой методике [Попов, Силин, Фриш, 1965].

На рис. 45, а приводятся примеры оконтуривания в плоскости разрезов медноколчеданных рудных тел на двух месторождениях в Западном Казахстане.

В плоскости разреза скв. 631—671—574—672 и 675 при помощи радиопросвечивания был четко установлен разрыв рудных тел А и Б, встреченных скв. 631 и 671, определено положение кромки рудного тела В, обрывающегося вблизи ствола скв. 574, и доказана принадлежность рудных пересечений в скв. 672 и 675 к одному рудному телу.

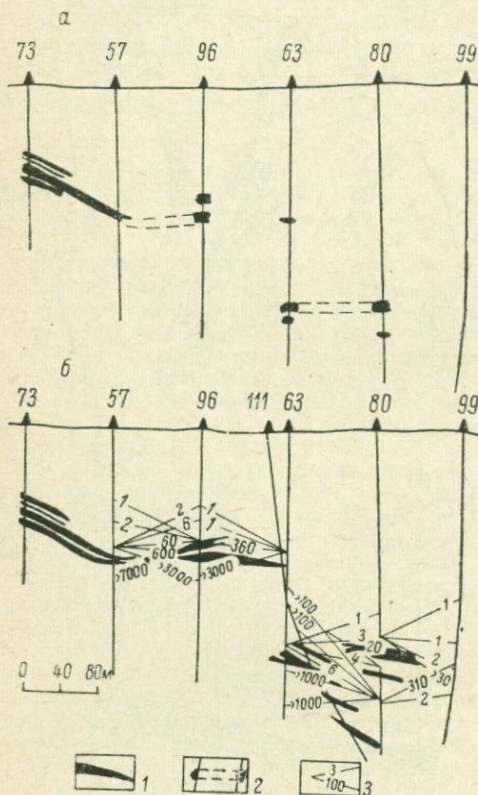
На другом месторождении в этом же районе (рис. 45, б) по профилю скв. 17—8—12 при помощи радиопросвечивания и метода электрической корреляции была доказана сплошность рудного тела в интервале между скв. 17 и 8 и определено положение его кромки в пространстве между скв. 8 и 12.

В приведенных примерах успех применения скважинной геофизики определен низким удельным сопротивлением рудных тел, значительной их мощностью, а также относительно высоким сопротивлением вмещающих эффузивно-осадочных пород.

Просвечивание проводилось на частоте 2,5 Мгц при расстояниях между скважинами от 50 до 100 м. Учитывая благоприятные условия применения скважинной геофизики, что было видно уже по данным бурения первой скважины, следует утверждать, что на обоих рас-

Рис. 44. Пример определения морфологии и увязки рудных тел в межскважинном пространстве по данным скважинной геофизики: а — увязка рудных тел по геологическим данным; б — фактическое положение рудных тел после проведения скважинных работ и проверочного бурения скв. 111 (по Я. Л. Гитлину). 1 — сульфидные руды; 2 — увязка рудных тел по геологическим данным; 3 — направление просвечивания и соответствующие коэффициенты экранирования.

считываемых месторождениях при решении задач оконтуривания рудных тел можно было бы применить значительно более редкую сеть бурения (100—150 м между скважинами), прибегая к сгущению только в случае необходимости проверки данных скважинной



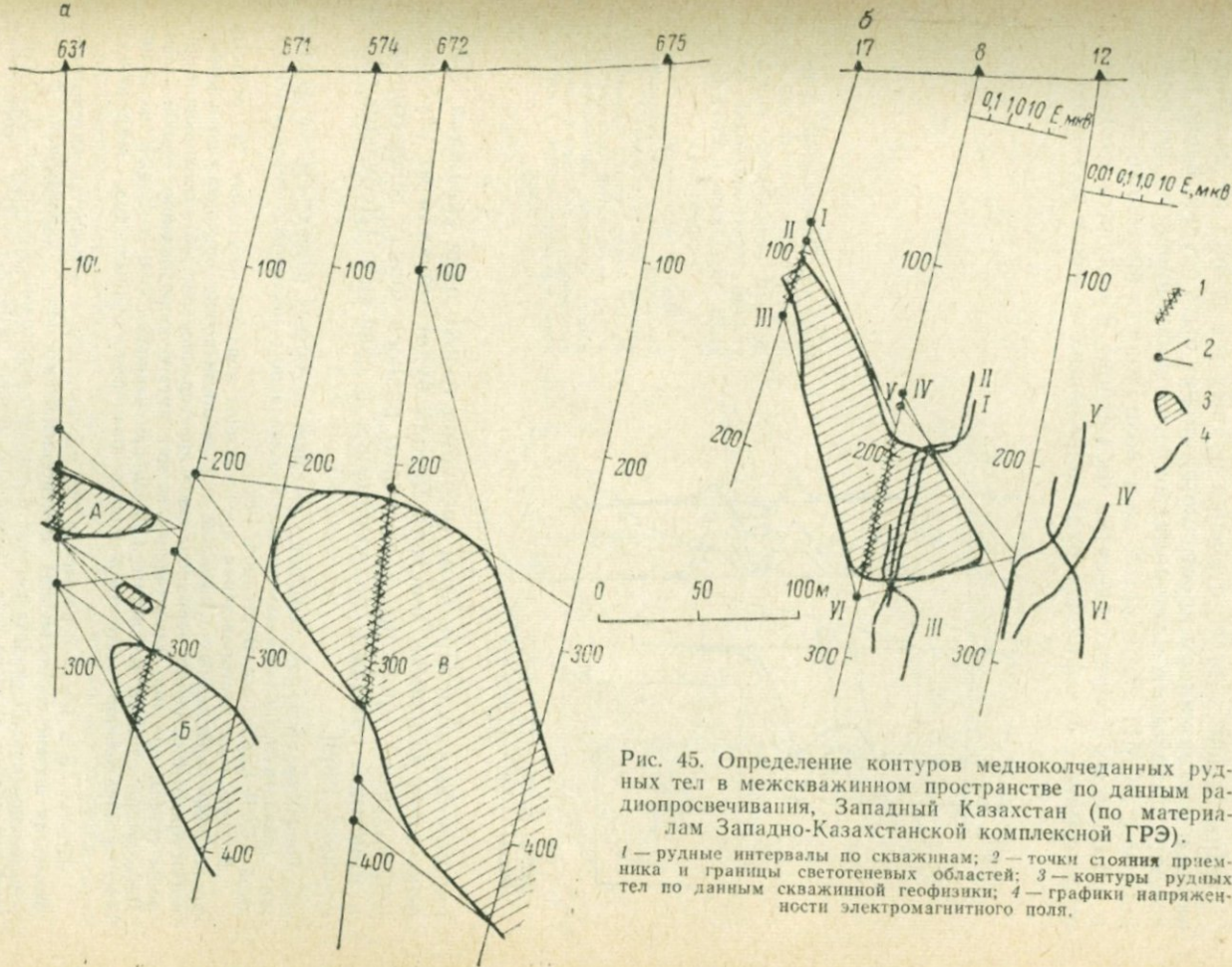


Рис. 45. Определение контуров медноколчеданных рудных тел в межскважинном пространстве по данным радиопросвечивания, Западный Казахстан (по материалам Западно-Казахстанской комплексной ГРЭ).

1 — рудные интервалы по скважинам; 2 — точки стояния приемника и границы светотеневых областей; 3 — контуры рудных тел по данным скважинной геофизики; 4 — графики напряженности электромагнитного поля.

геофизики и на флангах для уверенного оконтуривания рудных тел в плане.

Определение деталей строения рудных тел и мест их выклинивания в заскважинном пространстве может быть осуществлено при помощи дипольного электромагнитного профилирования по скважинам с АСМИ. Этот метод дает возможность проводить работы в низкоомных породах (десятки ом-метров) и получать аномалии от массивных сульфидных руд, залегающих в зонах низкоомных

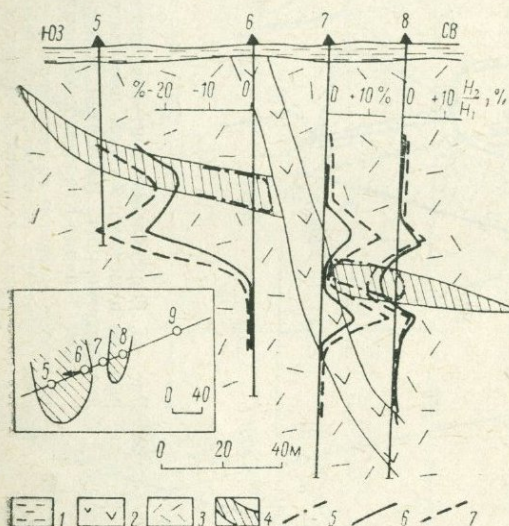


Рис. 46. Определение деталей строения рудных тел по данным скважинной индуктивной электроразведки (по Л. В. Лебедину и Р. Н. Вострецову).

1 — рыхлые отложения; 2 — альбитофиры; 3 — туфо-осадочные породы; контуры рудных тел: 4 — по геологическим данным, 5 — по результатам скважинных работ; графики составляющих вторичного электромагнитного поля: 6 — вещественной, 7 — мнимой.

вкрапленных руд. При этом требуется только одна скважина. Эффективная дальность действия метода будет зависеть от глубины используемой скважины и величины разноса между генераторной и приемной рамками, находящимися в скважине [Лебедин, Вострецов, 1969].

Типичным примером успешного решения названных разведочных задач служат результаты, полученные на медноколчеданном месторождении в Башкирской АССР [Лебедин, Вострецов, 1969].

Рудные тела месторождения представлены линзами массивных и отчасти прожилково-вкрапленных сульфидов, залегающими почти горизонтально и имеющими преимущественно меридиональное простирание (рис. 46). Вмещающие породы (туфы, брекчии, альбитофиры и др.) имеют сопротивление ~ 1000 ом·м. Работы проводились на частоте 1125 гц при разносе $L=50$ м. Задача заключалась в определении местоположения и размеров рудных тел, встреченных скв. 5—8.

По скв. 6 в месте пересечения ею массивных руд отмечается интенсивная аномалия осевой составляющей электромагнитного поля. Характерная форма аномальной кривой свидетельствует о том, что расстояние от оси скв. 6 до ближайшей кромки рудного тела значительно меньше разноса $L=50$ м и составляет величину ~ 5 м. По соотношению аномалий поперечных составляющих устанавливается, что кромка тела вытянута в меридиональном направлении и основная часть его расположена к западу от скв. 6 (на плане показано стрелкой, рис. 46).

По скв. 7, не встретившей сульфидных руд, отмечена четкая положительная аномалия (по вещественной и мнимой составляющим поля), характерная для случая, когда скважина прошла вблизи рудного тела, залегающего под углом к ее оси, близким к прямому (более точно угол оценивается по соотношению величин аномалии в точках максимумов и составляет 80°). Расстояние от ствола скв. 7 до кромки нижнего тела по данным скважинных измерений со-

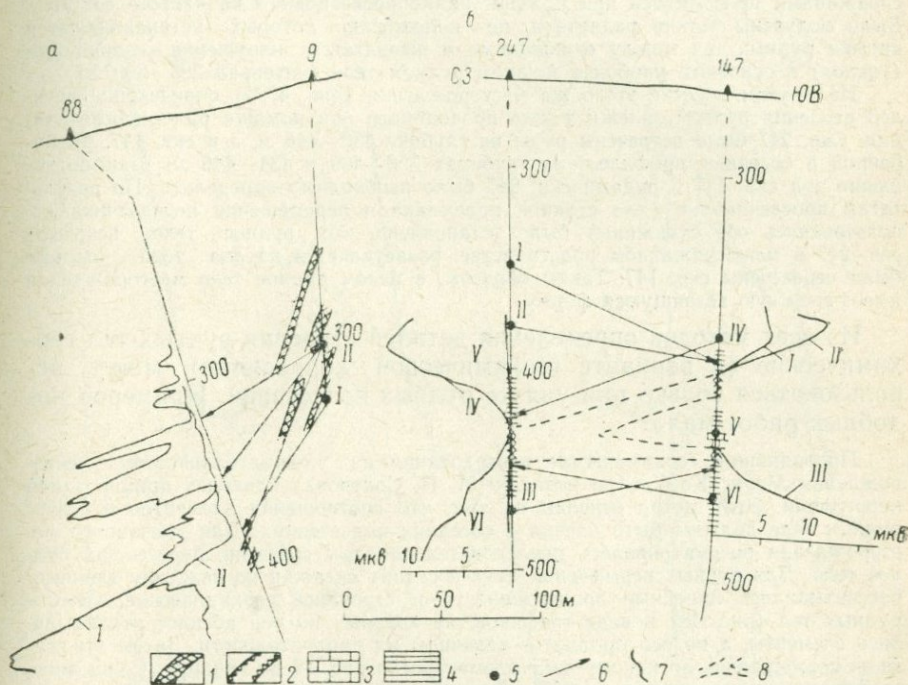


Рис. 47. Определение деталей строения крутопадающего (а) и пологозалегающего (б) рудного тела в межскважинном пространстве (по Н. Н. Устинову и А. И. Дембицкому).

1 — сульфидные руды; 2 — скарны; 3 — известняки; 4 — глинистые сланцы; 5 — точки стоянки приемника; 6 — границы световых областей; 7 — графики напряженности электромагнитного поля; 8 — контуры рудного тела в межскважинном пространстве.

ставляет 3—4 м, а рудное тело имеет протяженность к скв. 9 не более 20—25 м. Этот же вывод подтвердили данные измерений по скв. 8, которая пересекает рудное тело непосредственно у его восточной кромки (в 2—3 м). По первоначальным геологическим данным предполагалось, что рудное тело протягивается от скв. 8 по падению (к скв. 9) минимум на 50—60 м. Результаты скважинной индуктивной электроразведки были подтверждены данными других скважинных методов.

При наличии сложных ветвящихся и прерывистых руд наиболее эффективным методом определения деталей строения рудных тел является радиоволновое просвечивание, проводимое по стандартной методике (Попов, Силин, Фриш, 1965).

На рис. 47 приведены характерные примеры выявления деталей строения сульфидных редкометалльных тел, залегающих в сланцевой толще, в случае их

крутого падения (а) и почти горизонтального залегания (в плоскости разреза, б).

На одном участке месторождения (рис. 47, а) редкометалльные сульфидные руды были встречены скв. 9 в интервалах 256—264, 285—300 и 316—323 м. Скв. 88, пробуренная для подсечения руд на более глубоком горизонте, встретила только зоны околорудных измененных пород (глубина 350—400 м). Определение морфологии рудных тел и мест их выклинивания между названными скважинами проводилось при помощи радиопросвечивания на частоте 5,0 Мгц. Были получены четкие радиотени, по положению которых устанавливаются кромки рудных тел между скважинами и выявляется нарушение сплошности («окно») в основном наиболее мощном рудном теле (интервал 285—300 м).

На другом участке этого же месторождения (рис. 47, б) определение деталей строения рудной залежи также проводилось при помощи радиопросвечивания. Скв. 247 были встречены руды на глубине 430—446 м, а в скв. 147, пробуренной в соседнем профиле, — на глубинах 398—409 и 434—446 м; взаимоотношение руд скв. 147 с рудами скв. 247 было необходимо определить. По результатам просвечивания (для стоянок приемника и перемещения передатчика использовались обе скважины) было установлено, что рудное тело, вскрытое скв. 247 в межскважинном пространстве, разветвляется на два тела, которые были пересечены скв. 147. Таким образом, в целом рудное тело месторождения имеет сложную ветвящуюся форму.

Из всех методов определения деталей строения рудных тел геохимические (в варианте геохимической корреляции) могут использоваться только при увязке рудных подсечений. Примеров подобных работ мало.

Проводивший геохимические исследования на полиметаллическом месторождении Маунг Ко Ко (по методике А. П. Соловова) приводит пример такой корреляции. Этот метод основан на том, что соотношения элементов в одном рудном теле должны быть близки в соседних подсечениях. Для указанного месторождения рассматривались последовательно пары скважин, пересекавших рудное тело. Для рудных пересечений двух соседних скважин по каждому элементу рассчитывались линейные продуктивности и строились геохимические спектры рудных тел (рис. 48) в виде графиков, на которых по оси абсцисс откладывались элементы, а по оси ординат — величины их продуктивности. Затем эти графики совмещались по какому-либо элементу (на рис. 48 по свинцу). Совпадение графиков рассматривалось как свидетельство однородности геохимического спектра. В приведенном примере отмечались различия: по скв. 18 продуктивность цинка, меди и молибдена оказалась меньше, а висмута больше, чем по скв. 3. Более четко эти различия выявляются по коэффициенту отношения продуктивности элементов или групп элементов.

По отношениям $P_{\text{В1}}/P_{\text{Cu}}$ эти рудные подсечения различаются в 11 раз, по отношению $\frac{P_{\text{Pb}}P_{\text{Ag}}P_{\text{Bi}}}{P_{\text{Zn}}P_{\text{Cu}}P_{\text{Mo}}}$ в 54. Для других пар скважин различия сказались еще большими (до 580 раз). По этим расчетам был сделан вывод о принадлежности рудных подсечений в скв. 18 и 3 к различным рудным телам.

Подобным способом были построены геохимические спектры для двух сечений рудной зоны сульфидно-касситеритового месторождения Дальнего Востока (рис. 49).

На основании сопоставления геохимических спектров в качестве коэффициента, характеризующего геохимические различия рудных подсечений, было взято отношение произведений продуктивности

$$\nu = \frac{P_{\text{Cu}}P_{\text{As}}P_{\text{W}}P_{\text{In}}P_{\text{Zn}}}{P_{\text{Sn}}P_{\text{Pb}}P_{\text{Sb}}P_{\text{Bi}}P_{\text{Ag}}}$$

Сравнение этих коэффициентов по парам рудных подсечений показывает, что четко выделяются два типа соотношений. В первом значения ν различаются меньше, чем в 10 раз, во втором — значительно больше — от 50 до 308 раз. Пер-

ый случай свидетельствует о геохимической близости рудных подсечений. Различие в распределении (соотношении) элементов при этом можно считать незначительным и установленную близость рассматривать как одно из доказательств принадлежности рудных подсечений одному рудному телу.

На том же сульфидно-касситеритовом месторождении Дальнего Востока геохимическая близость рудных подсечений проверялась по парным отношениям продуктивности. Рассматривалась возможность увязки зон турмалинизации,

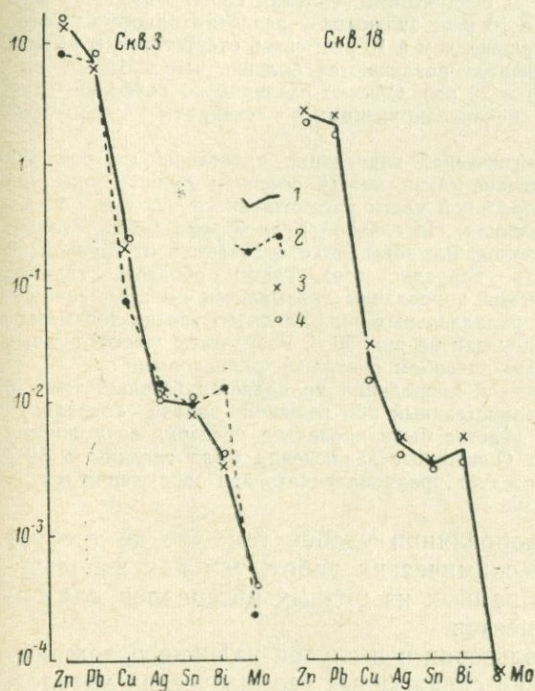


Рис. 48. Геохимические спектры рудных тел по скв. 3 и 18 на свинцовом месторождении Северной Киргизии (по Маунг Ко Ко).

График продуктивности: 1 — по скв. 3 и 18, 2 — по скв. 18, совмещенный по свинцу с графиком по скв. 3; подсчитанные значения продуктивности по пробам: 3 — четным, 4 — нечетным.

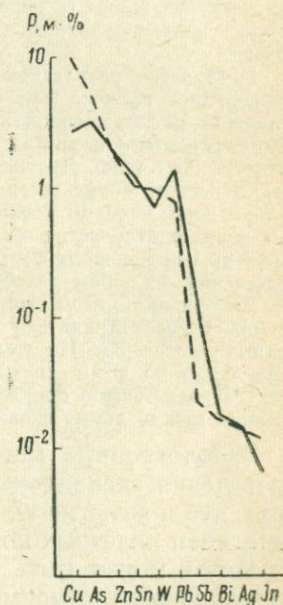


Рис. 49. Совмещенные геохимические спектры по двум пересечениям рудной зоны одного из сульфидно-касситеритовых месторождений Дальнего Востока.

вскрытых в 9 скважинах. В 4 из них было вскрыто по 2—3 зоны в каждой. Последнее обстоятельство определило целесообразность проведения геохимической корреляции. За исходную для расчетов принималась продуктивность элементов-индикаторов оловянного оруденения по каждой из вскрытых зон турмалинизации, рассчитанная на основе имеющихся в разведочной партии результатов анализов керновых проб. Прежде всего проверялась устойчивость значений продуктивности путем двух параллельных расчетов через пробу. Продуктивность в этом случае рассчитывалась два раза по половине проб (взятых через пробу). Для каждого сечения величины продуктивности по обоим расчетам оказались близкими. Это свидетельствует, что неравномерность распределения элементов в данном случае не сказывается на определении продуктивности и количество проб в каждом сечении достаточно для определения ее достоверного значения. Подобную проверку целесообразно проводить до начала расчета коэффициен-

тов. Если различия оказываются значительными, достоверность последующих выводов следует считать значительно ниже.

В качестве коэффициентов рассматривались P_{Pb}/P_{Sn} , P_{Sb}/P_{Sn} , P_{As}/P_{Sn} и P_{V}/P_{Sn} . Выбор их производился исходя из того, что перечисленные элементы являются наиболее четкими индикаторами оруденения, а отношения их к олову наиболее конкретно характеризуют закономерности в распределении оруденения.

Граничные значения для установления корреляционной связи между рудными подсечениями были приняты следующими: сильная связь — различие всех коэффициентов не больше, чем в 10 раз; значимая — различия одного из коэффициентов в 10—20, остальных меньше, чем в 10 раз; связь отсутствует, если значения двух или более коэффициентов различаются больше, чем в 10—20 раз, или хотя бы одного больше, чем в 20 раз. Обычно различия по коэффициентам между коррелирующимися и некоррелирующимися сечениями значительно больше.

Графически результаты геохимической корреляции приведены на рис. 50. Проверялось наличие или отсутствие связи между сечением рудной зоны по скважине, расположенной в центральной части рассматриваемого участка, и зонами, вскрытыми в других скважинах. По главной рудной зоне связь устанавливается постоянно. Другие параллельные зоны резко отличаются от главной по геохимическим коэффициентам (не коррелируются). Таким образом, главная рудная зона методом геохимической корреляции увязывается по всем скважинам и четко отделяется от всех параллельных зон. Характер увязки зон между собой по центральному разрезу показан на рис. 50, б. Результаты увязки рудных подсечений по обим разобраным способам оказались одинаковыми.

Безусловно, метод геохимической корреляции не является безошибочным и не может рассматриваться как единственный при решении задачи корреляции рудных подсечений. На том же участке была проведена проверка возможности корреляции по всем скважинам. Ошибочные заключения были сделаны в 10—15% случаев. Такую ошибку и следует предусматривать при заключении о корреляции между двумя скважинами.

Рассмотренный метод корреляции удобен тем, что не требует проведения специальных геохимических работ, так как используются дубликаты проб, отобранных из рудных интервалов для определения полезных компонентов.

Метод может быть использован и в случае наличия осложняющих условий для применения скважинных геофизических методов.

§ 3. ВЫЯВЛЕНИЕ В ОКОЛОСКВАЖИННОМ ПРОСТРАНСТВЕ СЛЕПЫХ РУДНЫХ ТЕЛ

В процессе проведения разведочных работ необходимо контролировать наличие в околоскважинном пространстве слепых рудных тел, часто являющихся спутниками основных рудных залежей и иногда заметно увеличивающих общие запасы месторождения. Существенную помощь в решении этой задачи оказывают скважинные геофизические методы, в определенных условиях геохимические и многозабойное бурение.

При наличии нескольких скважин выявление хорошо проводящих слепых рудных тел в пространство между соседними доступными для работы скважинами осуществляется в основном методом радиопросвечивания. Задача может также решаться и методом электроразведки на постоянном токе обычно попутно с решением других задач. При наличии одной скважины эффективно может быть использован метод индуктивной электроразведки АСМИ

Для выявления слепых тел, представленных вкрапленными рудами, при наличии одной или нескольких скважин успешно применяется метод вызванной поляризации в различных вариантах.

На рис. 51 приведен пример выявления с помощью радиоволнового просвечивания в межскважинном пространстве двух слепых рудных тел на одном из медных месторождений Южного Казахстана.

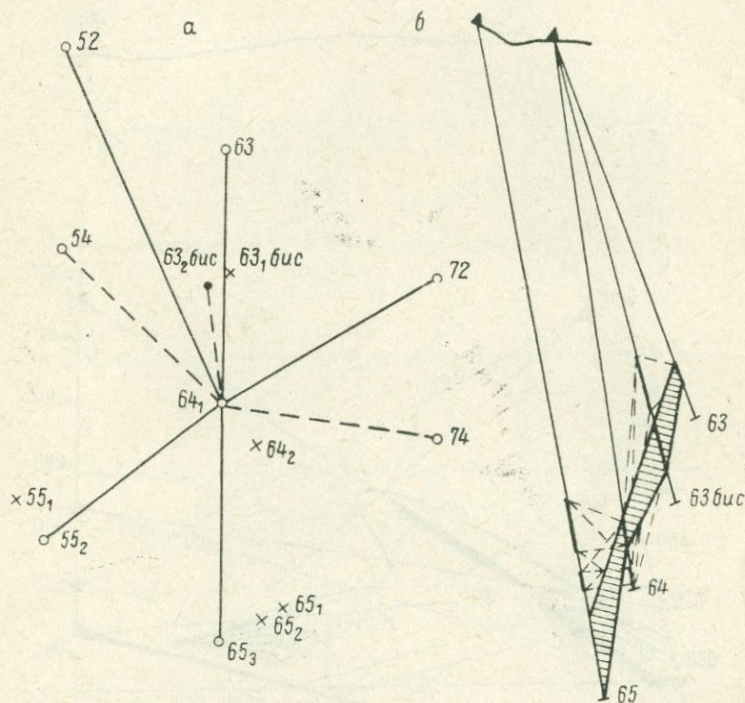


Рис. 50. Схема геохимической корреляции на одном из участков (а) и в разрезе (б) на сульфидно-касситеритовом месторождении Дальнего Востока.

а — сплошной линией показана сильная связь, штриховой — значимая; не соединенные прямыми точки указывают на отсутствие связи; б — заштриховано единое по данным геохимической корреляции рудное тело; штриховые линии соединяют опробованные интервалы параллельных зон в том случае, если связь между ними проверялась, но не установлена.

Следовало установить сплошность основного рудного тела, подсеченного скв. 797 и 895. Просвечивание проводилось на частоте 2,5 Мгц, а интерпретация велась с помощью построения разреза с коэффициентами экранирования. В результате проведенных работ кроме решения задачи по значениям коэффициентов экранирования было установлено наличие в межскважинном пространстве двух новых рудных тел, ранее не встреченных скважинами и представивших интерес для разведки.

При решении аналогичной задачи электроразведкой постоянным или низкочастотным током путем наблюдения потенциала (или градиента потенциала) целесообразно располагать питающий электрод на нескольких глубинах скважины, что обеспечивает выявление рудных тел во всем околоскважинном пространстве в радиусе 150—200 м [Русс, Шатров, 1966].

Ниже рассматривается пример установления ранее неизвестного рудного тела указанным путем на золото-сульфидном месторождении Центрального Казахстана (рис. 52). Прослеживалось по поверхности известное серноколчеданное тело. На рис. 52 приведены графики градиента потенциала при заземлении в безрудном интервале скв. 383 на глубине 110 м. В районе пикетов 450—650 м

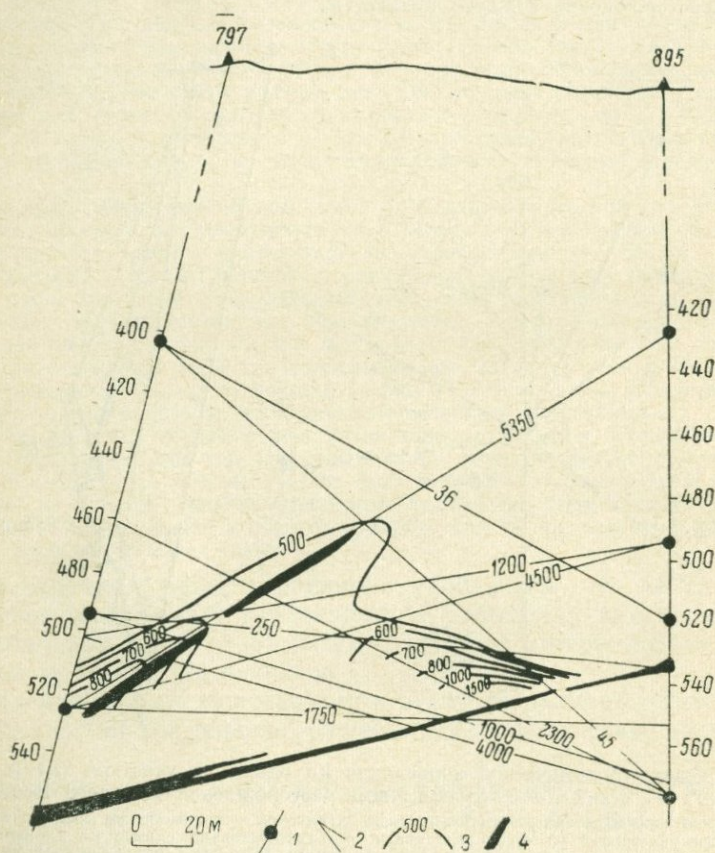


Рис. 51. Результаты работ методом радиоволнового просвечивания (по Р. А. Коробкиной).

1 — места стоянки приемника; 2 — лучевые диаграммы со значениями коэффициентов экранирования; 3 — изолинии коэффициентов экранирования; 4 — рудные тела.

по всем профилям на кривых наблюдаются аномальные значения градиента потенциала, указывающие на присутствие здесь проводящего объекта, отвечающего известному серноколчеданному телу. Кроме того, на правых ветвях кривых [пикеты (-100)—(+150)] наблюдается резкий спад значений градиента потенциала, за которым далее следует их плавное снижение.

Особенности этих кривых свидетельствуют о том, что к востоку от скв. 383 расположен ранее неизвестный объект повышенной электропроводности. Проверочные работы показали, что эта проводящая зона связана с сульфидной минерализацией и представляет несомненный интерес в связи с обнаружением в канавах, вскрывших зону, скоплений ярозита с высоким содержанием золота.

Для выявления слепых рудных тел в окрестностях одиночных скважин с успехом используется скважинная индуктивная электро-разведка с аппаратурой АСМИ. Кроме обнаружения слепого рудного тела (достаточно хорошо проводящего) этим методом могут быть установлены его размеры, элементы залегания и пространственное положение (Лебедин, 1968).

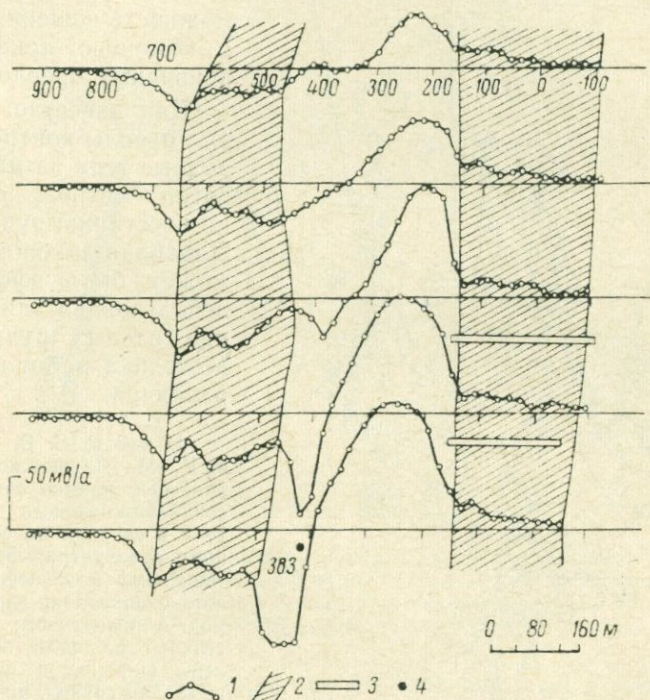


Рис. 52. Результаты работ электроразведкой постоянным током.

1 — графики градиента потенциала; 2 — зоны проводимости;
3 — каналы; 4 — скважина, где производилось заземление.

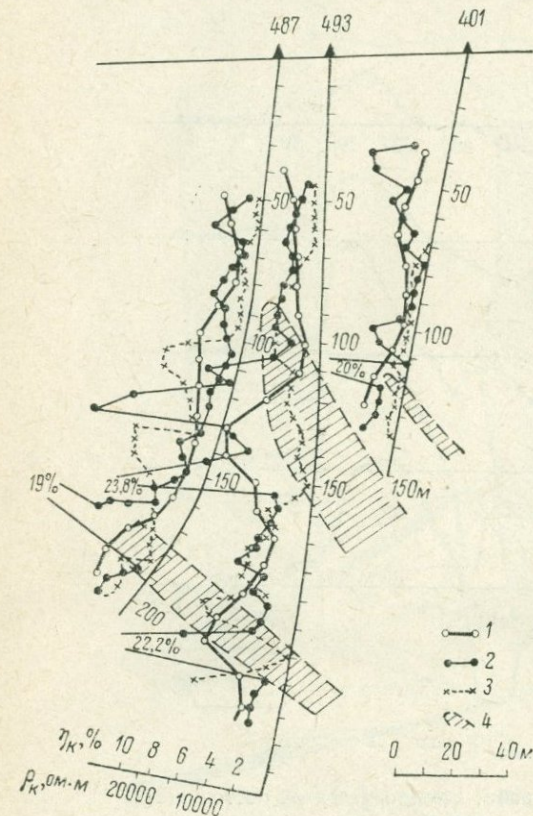
Выявление в межскважинном или околоскважинном пространстве слепых, плохо проводящих рудных тел (обладающих преимущественно вкрапленной текстурой руд) может быть осуществлено методом ВП в различных скважинных вариантах.

Примером обнаружения ранее неизвестного рудного тела методом ВП являются результаты работ, проведенных на золото-сульфидном месторождении в Центральном Казахстане (рис. 53). Здесь был выделен участок, перспективный на оруденение, по результатам изучения ореолов рассеяния в коре выветривания.

К началу проведения скважинных геофизических исследований были пройдены скв. 487 и 401, которые подсекли руды на глубине соответственно 175—

190 и 120—125 м. По скв. 487 были проведены работы методом ВП с установкой «вертикальный профиль», в результате которых аномалией η_k выделилось вскрытое рудное тело и, кроме того, была получена вытянутая по скважине аномалия на глубине 90—120 м.

Было высказано предположение, что между скв. 487 и 401 располагается слепое рудное тело. Проверочная скв. 493 вскрыла в межскважинном пространстве рудное тело, подтвердив сделанные выводы.



Ниже описывается возможность решения задачи с помощью привлечения первичных ореолов.

Как известно, первичные ореолы контролируют рудные тела на многие десятки метров, особенно по восстановлению рудных тел. Подобная закономерность может быть эффективно использована для выявления слепых рудных тел. Методика работ при этом различна.

В работе С. В. Григоряна и Е. М. Янишевского [1968] приведен пример обнаружения свинцово-цинкового рудного тела в скарнах по его первичному ореолу (рис. 54). По материалам детального площадного опробования коренных пород с поверхности на значительной площади были выявлены широкие и интенсивные аномалии свинца, цинка, мышьяка и серебра. Наличие мышьяка, являющегося индикатором верхних частей ореолов, и тесных корреляционных связей между элементами позволили предположить, что аномалии связаны со скрытым оруденением. Этот вывод был подтвержден геофизическими работами. На той же площади была выявлена аномалия повышенной

Рис. 53. Результаты работ методом вызванной поляризации (по В. А. Шафаренко).

График кажущейся поляризуемости с установкой: 1 — вертикального градиента, 2 — трехэлектродной; 3 — график кажущегося сопротивления; 4 — рудные тела.

поляризуемости, а результаты исследований методом ВЭЗ ВП указывали на увеличение с глубиной сульфидной минерализации. Пробуренная по сделанным рекомендациям скважина вскрыла на глубине 150 м рудное тело. Для определения направления дальнейшей разведки был опробован керн скважины и установлены границы первичного ореола на глубине. По разрезам было выявлено, что ореолы с глубиной выклиниваются. Особенно отчетливо это подтвердилось по подсчетам линейной продуктивности ореолов по поверхности и скважине и сравнению с данными опытно-методических работ при изучении первичных ореолов вокруг известных рудных тел.

	Медь—цинк	Мышьяк—цинк
Надрудная часть:		
опытно-методические работы	0,30	0,087
изучаемый разрез	0,29	0,04
Нижняя часть рудных тел:		
опытно-методические работы	0,08	0,008
изучаемый разрез	0,07	0,0073
Подрудная часть:		
опытно-методические работы	0,025	0,014

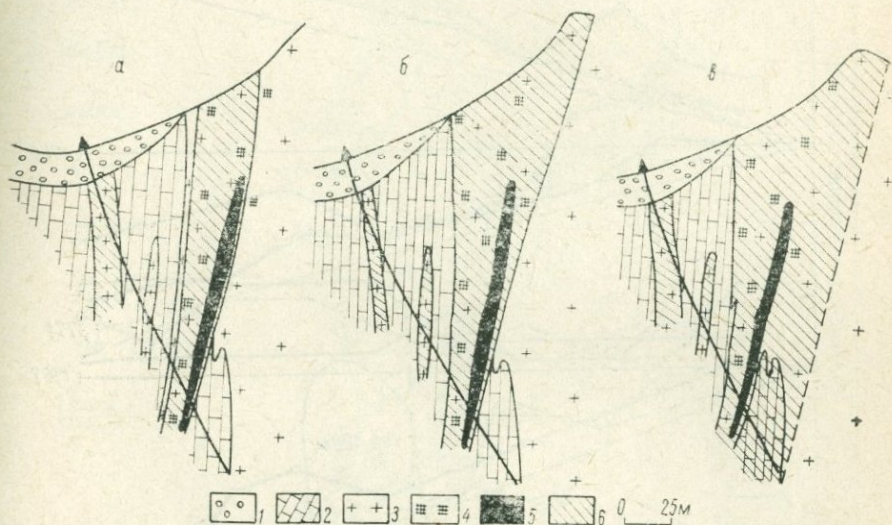


Рис. 54. Эндегенные ореолы мышьяка (а), серебра (б) и свинца (в) вокруг скрытого свинцово-цинкового рудного тела (по А. В. Жуковой).

1 — аллювиальные отложения; 2 — известняки; 3 — гранодиорит-порфиры; 4 — скарнированные породы; 5 — рудное тело; 6 — эндегенные ореолы.

Приведенные данные показывают, что вскрытый рудный интервал соответствует нижней части рудного тела. Подобное заключение дало возможность ориентировать ход дальнейшей разведки. Этот пример показывает возможности использования первичных ореолов при поисках скрытых рудных тел и определения направления разведочных работ. Методические работы проведены правильно за исключением того, что данные геофизических работ не были использованы полностью. Работы методом вызванной поляризации и геохимическое опробование проводилось, судя по описанию, параллельно и результаты их дополняли друг друга. Правильнее было площадь под геохимическое опробование выбирать с учетом площади аномалий вызванной поляризации. Это сократило бы объем геохимических работ.

Примером использования первичных ореолов для обнаружения рудного тела за пределами стенок горных подземных выработок являются работы Ю. К. Гуменного на полиметаллическом месторождении Приморья (рис. 55). На подземных горизонтах 120 и 145 м было вскрыто рудное тело и следовало выяснить его

положение и наличие на горизонте 175 м. Четыре пробуренных скважины (ГР-1767, 1768, 1771 и 1772) рудного тела не встретили. Опробованием первых трех скважин были выявлены первичные ореолы характерных элементов-индикаторов. Ширина и контрастность их возрастает от скв. 1768 к скв. 1771 и затем резко падает к скв. 1772. Отсюда был сделан вывод, что рудное тело залегают

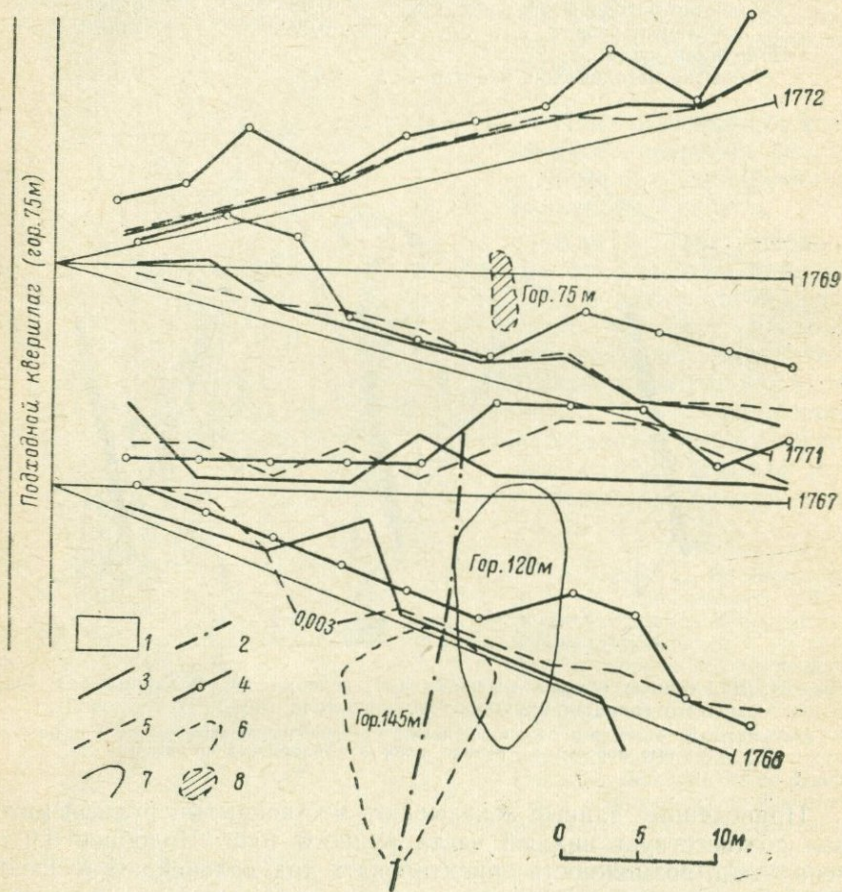


Рис. 55. Результаты геохимического опробования по скважинам подземного бурения на горизонте 75 м полиметаллического месторождения в Приморье (по Ю. К. Гуменному).

1 — известняки; 2 — линия тектонического нарушения; графики содержания; 3 — серебра, 4 — свинца, 5 — марганца; проекция рудного тела на горизонт: 6 — 145 м, 7 — 120 м; 8 — рудное тело на горизонте 75 м.

на участке между скв. 1771 и 1772. Действительно, скв. 1769 здесь было вскрыто рудное тело. Для разбраковки геохимических аномалий, выявленных на месторождениях этого района, в качестве основного критерия была принята полнота выявления элементов-индикаторов. Ореолы, связанные с рудными зонами, характеризуются 5—9 элементами-индикаторами в 100% случаев, безрудные ореолы характеризуются 1—3 индикаторами также в 100% случаев.

В работе Х. Т. Морриса и Т. С. Ловеринга [1954] приводится пример обнаружения с помощью первичных ореолов слепого полиметаллического оруденения (район Тинтик, штат Юта). Систематическое опробование стенок штреков при-

вело к установлению в его призабойной части первичного ореола свинца и цинка (рис. 56). Штрек был продолжен, и им было вскрыто новое слепое рудное тело, содержащее 12 тыс. т руды с содержанием серебра до 200 г/т, свинца до 6 % и цинка до 7%.

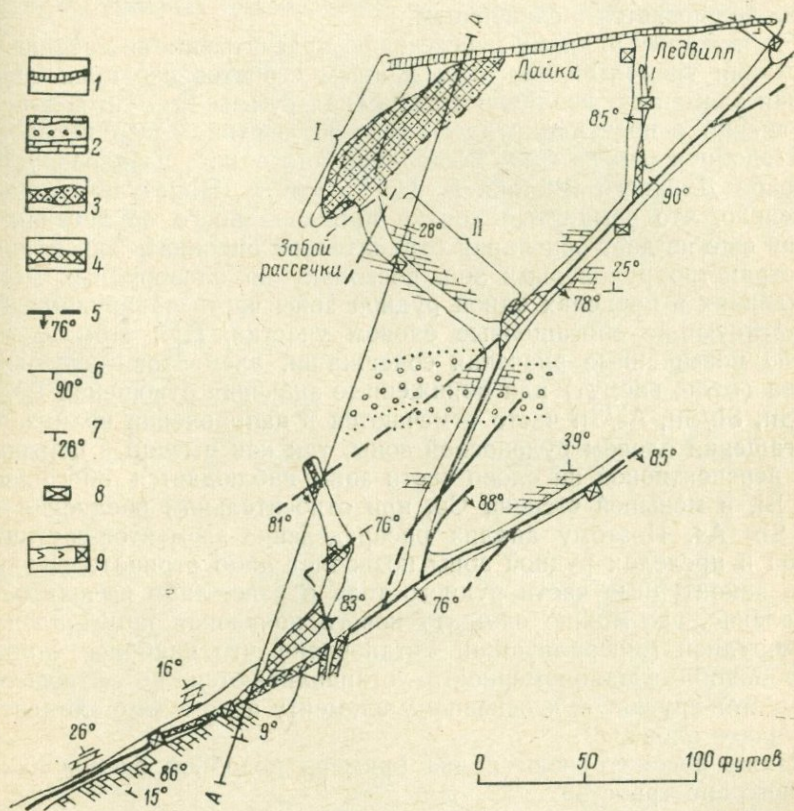


Рис. 56. Часть горизонта 2500 м главной шахты, район Тинтик, штат Юта (по данным Х. Т. Морриса).

I — работа проведена после выявления геохимической аномалии; *II* — опробованная площадь.

1 — дайки андезита; *2* — доломит; *рудные тела*: *3* — с высококачественной рудой, *4* — с низкокачественной рудой; *5* — сброс и его падение (штриховая линия — точно не установлено); *6* — вертикальный сброс; *7* — простирание и падение слоев; *8* — восстающий; *9* — наклонный восстающий.

На этапе предварительной и даже детальной разведки сведения о возможном наличии или отсутствии оруденения за пределами разведанного контура руд могут быть получены только путем совместного учета геологических особенностей месторождения и результатов геофизических и геохимических работ или путем проходки законтурных скважин. Первый путь экономически более выгоден, так как позволяет сократить число законтурных скважин за счет того, что скважины располагают на перспективных уча-

стках и разряжают в других частях рудного тела. Проводить специальные геохимические работы при этом не имеет смысла, однако имеющийся при разведке материал по опробованию рудных тел может быть после соответствующей обработки использован. Обработка заключается в следующем.

По каждому рудному пересечению подсчитываются средние содержания элементов. По этим данным строятся изолинии содержания элементов, изолинии содержания суммы элементов или их отношений в проекции рудного тела на вертикальную плоскость.

Подобная работа была выполнена для одного из оловорудных районов Дальнего Востока В. Н. Гагаевым. В результате было выяснено, что замкнутый контур промышленного оруденения по олову еще не дает основания отрицательно оценивать законтурное пространство рудоносных зон, поскольку на оловорудных месторождениях в пределах одной рудной зоны часто обнаруживаются сопутствующие обогащенные оловом участки. При этом закономерно повышенные значения содержаний элементов — спутников олова (медь, висмут) или пониженные значения отношений Pb/Sn , Zn/Sn , Sb/Sn , As/Sn часто отмечаются в направлении возможного обогащения оловом рудоносной зоны, так как именно в центральной перспективной на олово части зоны наблюдается обогащение Sn , Bi , в меньшей степени Cu , при относительном обеднении Pb , Zn , Sb , As . Поэтому анализ распределения элементов-спутников олова в пределах рудной зоны позволяет либо отрицательно оценить законтурные части рудного тела в зоне, либо выделить направление, где можно ожидать нового появления промышленной оловорудной минерализации. Установлено, что наиболее контрастно подобные закономерности устанавливаются по отношению элементов-спутников к основному элементу и по сумме элементов-спутников олова.

Ниже рассматриваются два примера подобной оценки законтурного пространства.

Для уже описанного выше сульфидно-касситеритового месторождения, залегающего в верхнемеловых эффузивах, было построено распределение олова и элементов-спутников в проекции на вертикальную плоскость (рис. 57, а). Из рисунка видно, что изолинии повышенного содержания олова почти полностью замкнуты. Лишь в районе профилей XVIII—XIX повышенное содержание олова не оконтурено с севера. По отношению As/Sn обогащенные оловом участки характеризуются низкими значениями этого отношения. Северная часть рудной зоны более контрастно, чем по олову, выделяется как перспективная по минимальному значению этого отношения. Кроме того, как перспективная выделяется часть рудной зоны в районе профилей V—VII на нижних горизонтах (ниже границы промышленного контура). Так же контрастно эти части рудной зоны выделяются как перспективные по минимальным значениям отношений Pb/Sn и Zn/Sn . В результате анализа этих распределений сделано заключение о возможном наличии промышленного оруденения севернее профиля XIX и на глубоких горизонтах южной части рудной зоны. Действительно, при продолжении разведочных работ промышленное оруденение установлено на профилях XX и XXI, а также в одной из глубоких скважин на профиле V.

Подобный анализ распределения элементов в пределах рудной зоны был проведен на другом месторождении (рис. 57, б), где рудное тело залегает в оса-

дочных породах юрского возраста и сложено в отличие от рассмотренного выше не пропилитами, а кварцево-турмалиновыми и турмалиновыми породами. Форма и размеры рудного тела примерно такие же, что и на рассмотренном выше месторождении. В пределах зоны четко видно замыкание изолиний олова (рис. 57, б). Изолинии содержания сурьмы также не прослеживаются ниже

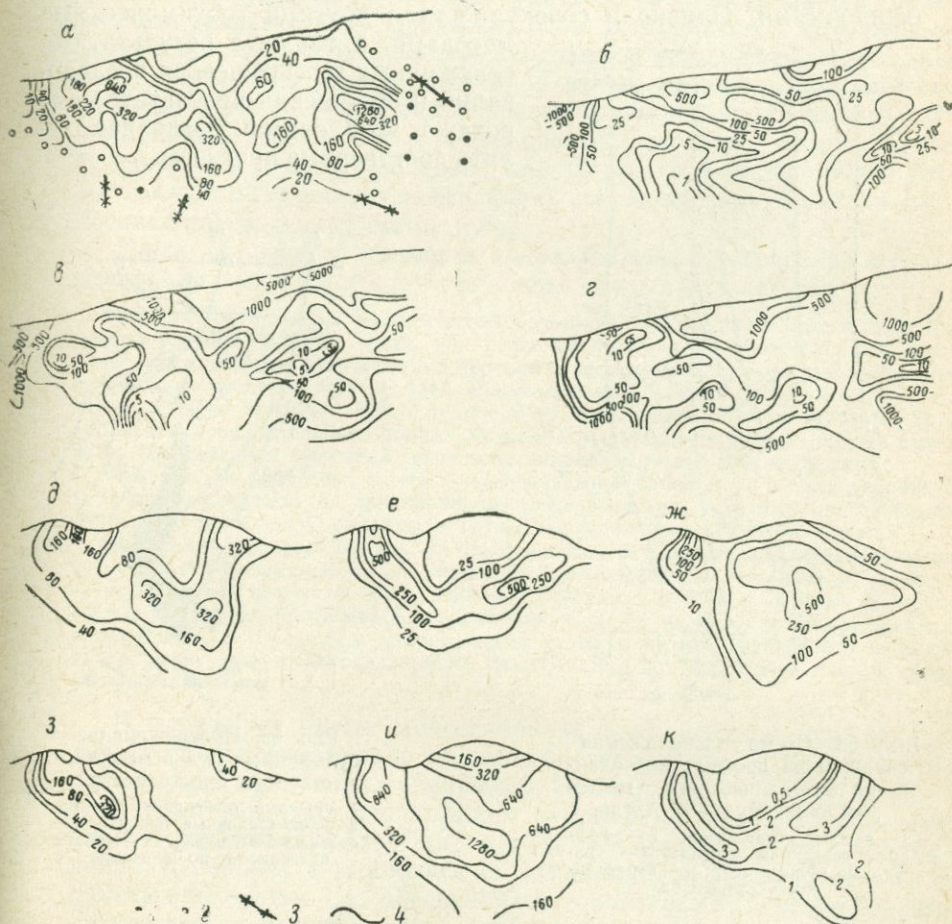


Рис. 57. Распределение элементов в рудных зонах двух (а—г и д—к) сульфидно-касситеритовых месторождений Дальнего Востока (по В. Н. Гагаеву).

Распределение: а, д — олова, б, и — отношения As/Sn , в, з — отношения Pb/Sn , г — отношения Zn/Sn , е — сурьмы, жс — суммы металлов (Pb, As, Cu, Zn), к — отношения As/Cu . Скважины: 1 — рудные, 2 — безрудные; 3 — границы перспективных участков; 4 — изолинии содержания элементов, усл. ед.

центральной части промышленного контура. Очень контрастно промышленное оруденение оконтуривается по сумме металлов (свинец, мышьяк, медь, цинк) и отношениям $Pb/Sn, As/Sn, As/Cu$.

Анализ приведенных материалов позволил сделать вывод, что рудное тело полностью разведано и ожидать промышленного оруденения в пределах рудной зоны вблизи него не приходится. Действительно, пробуренные в дальнейшем севернее и южнее скважины промышленного оруденения не встретили.

Рассмотренный способ оценки наличия оруденения за пределами разведанного контура, т. е. таких участков, на которых целесообразно продолжать разведочные работы, удобен тем, что не требует проведения специальных работ по опробованию. Безусловно, заключения по этому способу не могут быть полностью безошибочными. Однако в совокупности с другими геохимическими

методами, а также с результатами скважинных геофизических исследований и обобщения результатов каротажа этот способ позволяет делать достоверные прогнозы.

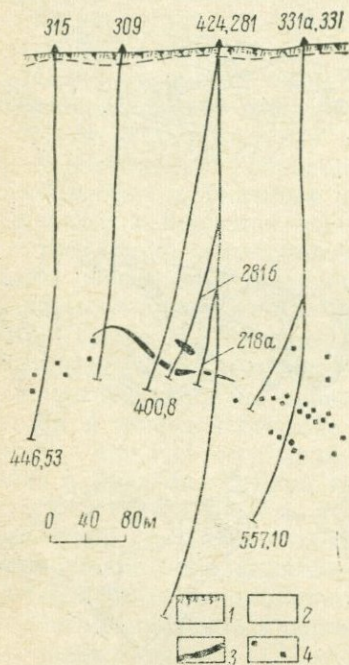


Рис. 58. Схема расположения скважин на профиле колчеданно-полиметаллического месторождения Рудного Алтая.

1 — рыхлые отложения; 2 — эффузивно-осадочная толща; 3 — сульфидные руды; 4 — вкрапленность сульфидов.

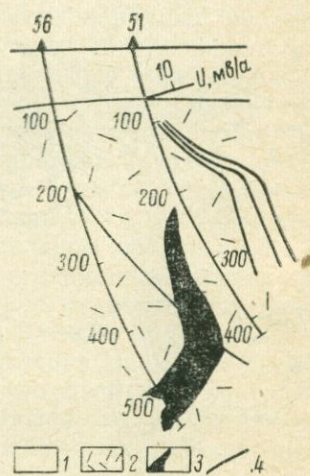


Рис. 59. Прослеживание сульфидных руд в межскважинном пространстве.

1 — рыхлые отложения; 2 — эффузивно-осадочные породы; 3 — сульфидные руды; 4 — кривые потенциала по скважине.

В решении рассматриваемой задачи большую роль может иметь многозабойное направленное бурение. Оно может осуществляться при наличии технических средств и технологии, обеспечивающих необходимое отклонение дополнительных стволов от основного и их проходки по заданному направлению.

Сведения по вопросам техники и технологии многозабойного бурения изложены в работах Б. И. Воздвиженского (1966), Ю. Т. Морозова (1964) и др. Целесообразность бурения многозабойных скважин обосновывается экономическим расчетом. Обычно переход на многозабойное бурение оправдан при разведке месторождений, залегающих на глубине более 200 м.

С помощью многозабойного направленного бурения в комплексе с геофизическими и геохимическими методами и с учетом геологической обстановки решаются многие разведочные задачи.

Так, геофизические методы, позволяя выявлять новые рудные тела в околоскважинном пространстве, не обеспечивают определения качества руд, что может быть установлено с небольшими затратами средств и времени бурением дополнительных направленных стволов, отходящих от пройденных скважин. При наличии осложняющих обстоятельств, препятствующих полноценному использованию скважинных геофизических методов, направленное бурение может быть проведено для контроля благоприятных геологических признаков, указывающих на вероятное наличие в околоскважинном пространстве руды.

Ниже приведены примеры использования многозабойного бурения для выявления сопутствующих слепых рудных тел.

На рис. 58 приведен геологический разрез по одному из полиметаллических месторождений Рудного Алтая, при разведке которого широко было использовано многозабойное направленное бурение. Здесь из скв. 281 для проверки геологического прогноза был пройден дополнительный направленный ствол (281б), которым было вскрыто слепое рудное тело, залегающее вблизи главного. Для получения дополнительных данных об основном рудном теле был пройден ствол 281а. Примененная методика позволила сократить более 600 м бурения.

На рис. 59 приведена схема применения многозабойного и однозабойного бурения в комплексе со скважинными геофизическими методами при разведке одного из колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая.

Как видно из рис. 59, скв. 51 не пересекла рудного тела. Проведенные по скважине геофизические исследования (с использованием соседних скважин) методом заряда показали, что, начиная с глубины 220—230 м и ниже, к забою вблизи скважины протягивается проводник. Скв. 56 на глубине 500 м вскрыто рудное тело, а отходящим направленным стволом из нее установлено положение рудного тела в межскважинном пространстве, подтвердившее данные скважинной геофизики.

В настоящее время многозабойное направленное бурение получило довольно широкое применение, особенно в отдельных геологических управлениях (например, ВКГУ).

Рассматриваемая в настоящем руководстве методика разведки предусматривает весьма широкое использование этого вида бурения, поскольку в комплексе со скважинными геофизическими и другими методами оно обеспечивает значительное повышение геологической и экономической эффективности всего процесса разведки.

§ 4. ПОСТРОЕНИЕ РАЗВЕДОЧНЫХ РАЗРЕЗОВ С ПОМОЩЬЮ СКВАЖИННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Геологические разрезы являются основным видом изображения строения месторождений полезных ископаемых. Они позволяют наиболее полно учитывать все особенности месторождения: закономерности размещения и строения рудных тел, условия их залегания, тектоническое строение и другие характерные его черты. Это важнейший и необходимый материал при производстве раз-

ведочных работ. Разрезы служат основой наиболее достоверного подсчета запасов и обоснованного выбора направления разведочных работ. Отсутствие правильного представления о строении месторождения нередко приводит к значительному удорожанию предварительной и детальной разведки и неправильной оценке его перспектив.

Не рассматривая подробно вопрос о значении и принципах построения разведочных разрезов, что общеизвестно и хорошо освещено в работах Д. А. Зенкова [1955, 1957], В. М. Крейтера [1941], В. И. Смирнова [1957] и других, необходимо остановиться на некоторых их особенностях в связи с использованием для этой цели скважинных геофизических методов исследований.

В настоящее время разведочные разрезы — вертикальные (поперечные или продольные) и горизонтальные — составляются по данным буровых скважин, горных выработок и геологической карты месторождения. Общей особенностью существующих приемов построения разрезов является то, что в подавляющем большинстве случаев они не представляют собой результата непрерывного прослеживания контуров рудных тел, структурно-тектонических элементов и т. п. Это обуславливает широкое использование в практике построения разрезов способов интерполяции и экстраполяции. Геологическая интерполяция получила большее распространение по сравнению с формальными (математическими) приемами, поскольку она полнее учитывает изменение таких свойств рудных тел, как мощность и содержание. Экстраполяция может быть ограниченной или неограниченной [Крейтер, 1941; Зенков, 1955]. При этом последняя осуществляется на основе геологических, морфологических или формальных приемов.

Достоверность интерполяции и экстраполяции находится в зависимости от плотности сети разведочных выработок. Вместе с тем даже при достаточно высокой густоте выработок нередко возникают значительные трудности в увязке рудных пересечений между соседними скважинами, в определении контуров рудных тел и др. Это приводит к многовариантности построения разрезов, особенно для месторождений сложного геологического строения.

Таким образом, принятые методы построения разведочных разрезов всегда обуславливают некоторые неопределенности и погрешности, связанные с недостаточными представлениями о поведении оруденения в блоках между выработками или вблизи них. Эти погрешности могут быть небольшими и тогда запасы подсчитываются с достаточно высокой точностью и наоборот. В последнем случае возможны большие расхождения в оценке запасов месторождения.

Пример большого расхождения величины запасов, подсчитанных на основании данных буровых скважин, с данными отработки и эксплуатационной разведки приведен на рис. 60 по одному из колчеданных месторождений Урала [Генбом, 1963]. Месторождение сложено порфирами, кварц-серцитовыми и кварц-хлоритовыми сланцами, вторичными кварцитами и другими породами. Рудные тела имеют крутое, близкое к вертикальному, падение и залегают кули-

сообразно. Форма рудных тел неправильная. Широко развиты дайки плагиоклазовых порфиров и альбитофиров, секущие рудные тела. Месторождение разведывалось буровыми скважинами по сети 60×50 м до горизонта 145 м. Более глубокие горизонты освещены единичными пересечениями. Отработка и эксплуатационная разведка горными выработками и подземными скважинами показали, что запасы по сравнению с ранее подсчитанными уменьшились по ка-

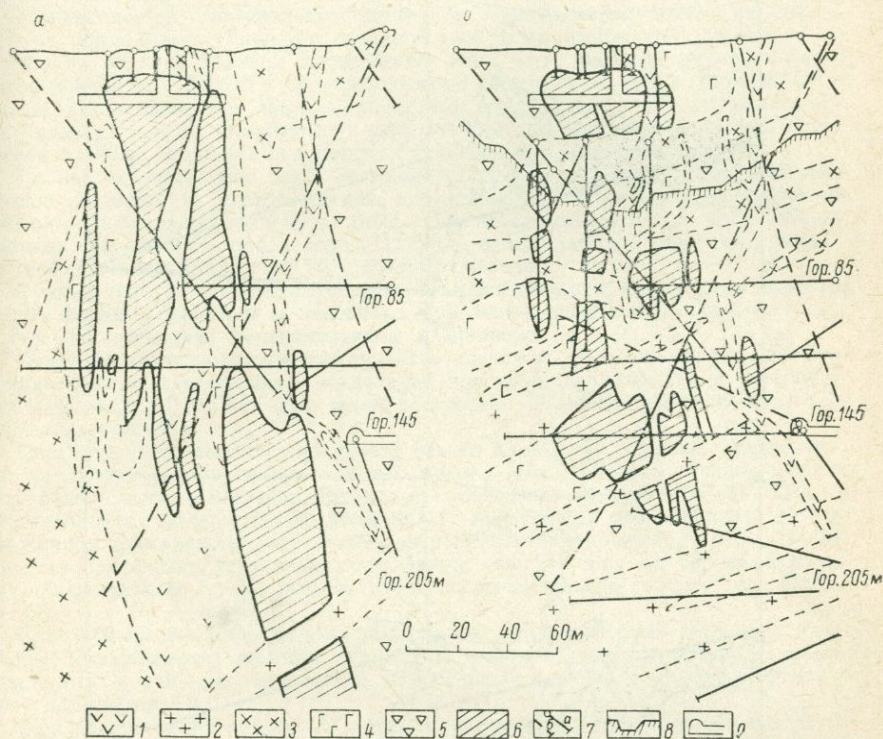


Рис. 60. Поперечный разрез по данным буровой разведки (а), отработки и горнобуровой разведки (б) (по А. Б. Генбому).

1 — плагиоклазовые порфиры; 2 — жильные альбитофиры; 3 — порфиронды; 4 — вторичные кварциты; 5 — сланцы по туфобрекчиям альбитофиров; 6 — рудные тела; 7 — буровые скважины (а — в плоскости разреза, б — спроектированные на разрез); 8 — контур отработки карьера; 9 — подземные горные выработки.

тегории C_1 вдвое, а запасы категории C_2 не подтвердились в связи с выклиниванием оруденения выше горизонта 205 м. Грубые ошибки в оценке запасов месторождения обусловлены неправильным учетом многочисленных секущих даек. Плотность буровой сети скважин 60×50 м оказалась недостаточной. Как видно на рис. 60, первоначальный вариант разреза весьма значительно отличается от последующего.

Качество разведочных разрезов можно значительно повысить за счет использования при их построении результатов скважинных и шахтных геофизических исследований, восполняющих представления о пространстве между разведочными выработками.

На рис. 61 приведены разрезы, построенные только по геологическим данным и результатам геофизических работ по одному из медноколчеданных месторождений Рудного Алтая [Гитлин, 1965].

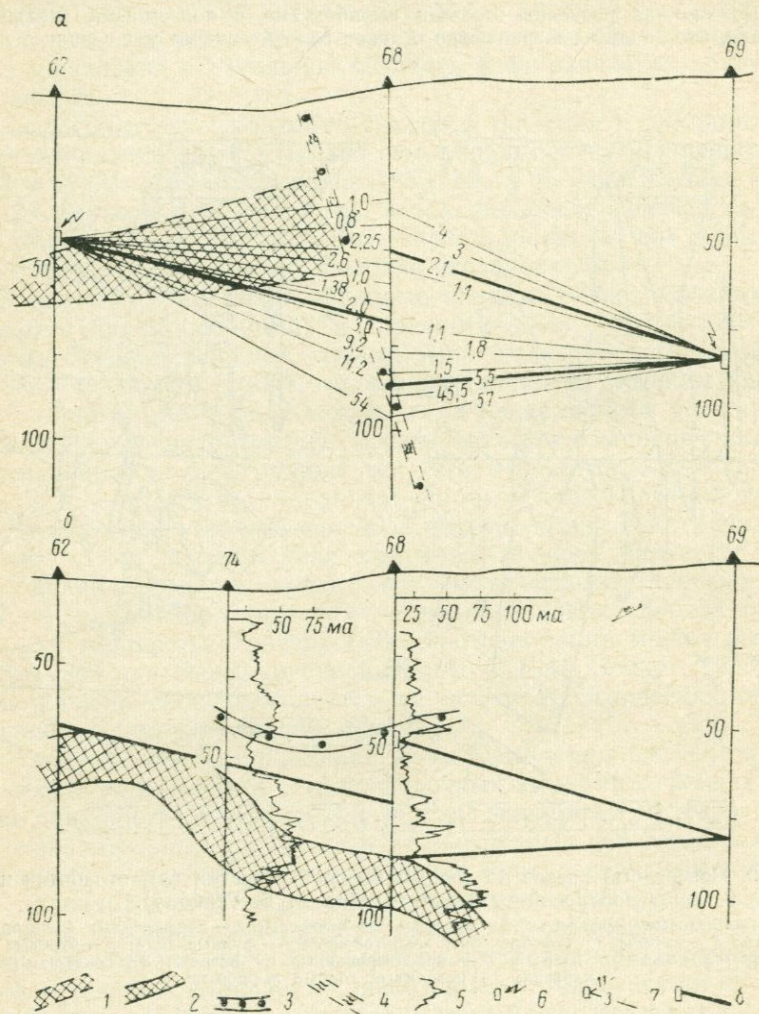


Рис. 61. Разрезы, составленные по геологическим данным (а) и с учетом результатов работ методом радиоволнового просвечивания (б) (по Я. Л. Гитлину).
 Контуры рудной зоны: 1 — предполагаемые, 2 — по геофизическим данным; 3 — сульфидная минерализация; 4 — предполагаемое тектоническое нарушение; 5 — кривые МСК, 6 — стоянки приемника; 7 — лучи со значениями коэффициентов экранирования; 8 — свето-теньевые границы.

Рудные тела, приуроченные преимущественно к зонам срыва и дробления, характеризуются сложным строением. Массивные и прожилково-вкрапленные руды представлены в основном пиритом и халькопиритом. Они имеют сопротивления 10—100 ом·м, сопротивления вмещающих их алевролитов 500—1000, лавобрекчий и туфолав 2000—5000 ом·м. Установление морфологических особенностей рудных тел и увязка рудных пересечений между скважинами на основа-

нии только геологических данных представляет большие трудности, в связи с чем решение этих задач осуществлялось с помощью скважинных геофизических методов исследований.

Согласно геологическим построениям с использованием лишь данных бурения рудное тело, пересеченное скв. 62, залегаёт почти горизонтально и срезается минерализованным разломом вблизи скв. 68.

На основании изучения пространства между этими скважинами методом радиоволнового просвечивания наличие рудного тела в верхней части разреза не устанавливается. Значения коэффициентов экранирования почти не отличаются от нормальных. Однако с глубиной они резко возрастают, причем четко выделяется верхняя граница проводящей зоны. По данным радиоволнового просвечивания скв. 62, 68 и 69 и результатов каротажа по ним в верхней части разреза устанавливается лишь маломощная зона сульфидной минерализации. Как видно из рис. 61, результаты геофизических исследований позволили существенно уточнить строение разреза, что подтверждено бурением скв. 74.

На рис. 62 приведены результаты применения скважинных геофизических методов на одном из месторождений, характеризующемся сложным строением [Козырин, Сапожников, Бабенков, 1968]. Оно было разведано в сравнительно короткий срок, чему в определенной степени способствовало широкое применение геофизических методов на всех стадиях разведки.

Рудные тела медно-цинкового состава имеют сложную пласто- или линзообразную форму и залегают в кварцевых дацитовых порфиритах. Подстилающие их породы интенсивно минерализованы и изменены.

Около- и межскважинное пространство изучалось по схеме заряда для корреляции рудных пересечений, определения положения рудных тел и тектонических нарушений. Решение этих задач обеспечило обоснованное построение геологических разрезов.

Согласно построениям, основанным только на данных бурения, рудное тело представлялось в виде единой мощной линзы, хотя имелись предположения о его более сложном строении. Результаты геофизических работ по скв. 53 и 54 свидетельствуют об отсутствии связи между их рудными пересечениями в межскважинном пространстве. Это видно из рассмотрения кривых *2в* и *3а*. Непрерывность оруденения устанавливается между скв. 54, 60 и 53, 58, что показывает анализ кривых *1а*, *2б*, *3г* и *5в*. Уточнено выклинивание рудного тела вблизи скв. 58.

Скв. 60 пересечен ряд рудных интервалов, причем нижний геологами относился к обособленному рудному телу. В то же время анализ кривой *2б* свидетельствует о связи этих пересечений (в том числе и нижнего интервала) между собой вблизи скв. 60.

При рассмотрении кривых *1а* и *3а*, полученных при наблюдениях по скв. 54 и расположении питающих электродов соответственно в скв. 60 и 53, сделан вывод о наличии нового рудного тела между скв. 54 и 53. При этом интенсивно минерализованные породы, пересеченные скв. 54, были отнесены к его верхней кромке.

Результаты геофизических работ подтверждены бурением скв. 40, 44, 94 и др. На рис. 62 видно, что основные черты строения разреза, определенные в результате скважинных исследований, подтвердились. Вместе с тем они существенно отличаются от первоначальных представлений. В дальнейшем построение разрезов опиралось на данные скважинной геофизики.

Применение геофизических методов для построения разрезов при разведке, производимой с использованием подземных горных выработок, также оказывается полезным. Особенно возрастает роль горных выработок при производстве детальных разведочных работ.

На одном из редкометальных месторождений ВИТР совместно с организациями МГ Узбекской ССР в большом объеме выполнены геофизические исследования в горных выработках при производстве детальных разведочных работ [Гончаров и др., 1969].

Месторождение имеет весьма сложное геологическое строение (рис. 63 и 64). По морфологическим особенностям выделяются пологозалегающие межпластовые залежи и секущие жилообразные крутопадающие рудные тела. Они характеризуются сложным строением, часто имеют место раздувы и пережимы. Широко развита дизъюнктивная тектоника типа сбросов, надвигов, взбросов. Число небольших рудных тел достигает многих десятков.

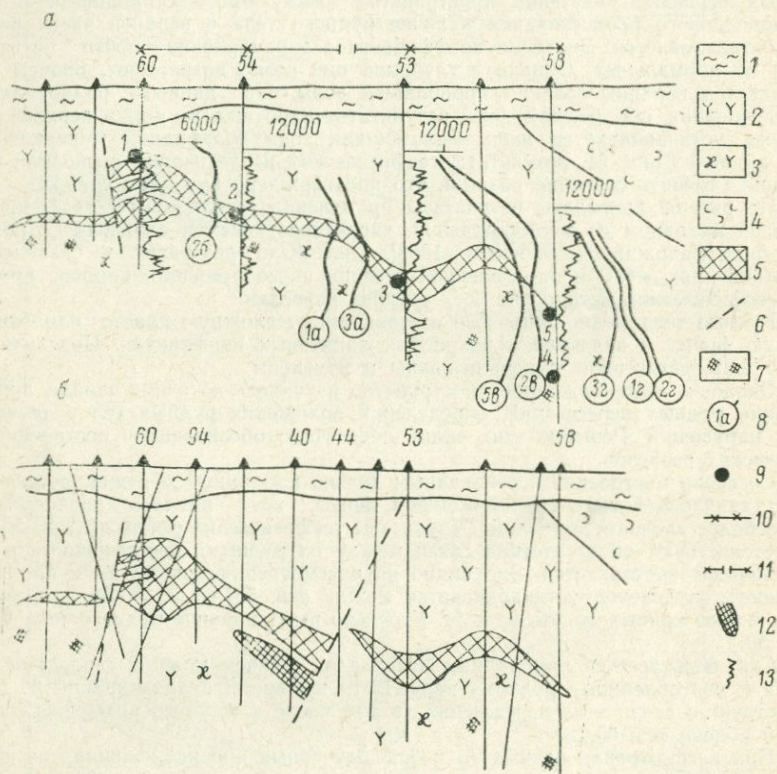


Рис. 62. Первоначальный вариант разреза по геологическим представлениям (а) (по Б. В. Смирнову) и окончательный, составленный с учетом результатов геофизических исследований (б) (по В. А. Козулину, В. М. Сапожникову и др.). 1 — песчано-глинистые отложения; 2 — кварцевые дацитовые порфириты; 3 — гидротермально измененные дацитовые порфириты; 4 — туфы основного состава; 5 — массивные руды; 6 — тектонические нарушения; 7 — интенсивная сульфидная минерализация; 8 — кривые потенциала с номерами, соответствующими определенному положению питающего электрода; 9 — положение питающего электрода; 10 — увязываемые рудные пересечения; 11 — разрыв сплошности рудных тел; 12 — предполагаемое по геофизическим данным рудное тело; 13 — кривые каротажа КС.

При таком сложном строении месторождения увязка рудных пересечений между выработками и определение пространственного положения рудных тел представляет значительные трудности.

На рис. 63 приведены результаты работ по изучению пространства между рассечками 6 и 8 методами электроразведки на постоянном токе по схеме заряда и радиоволнового просвечивания. Этими рассечками были пересечения промысленные руды. Рудное пересечение рассечки 8 находится на контакте рудомещающих гидротермально измененных пород с известняками. Рудное пересечение рассечки 6 расположено на расстоянии около 20 м от этого контакта.

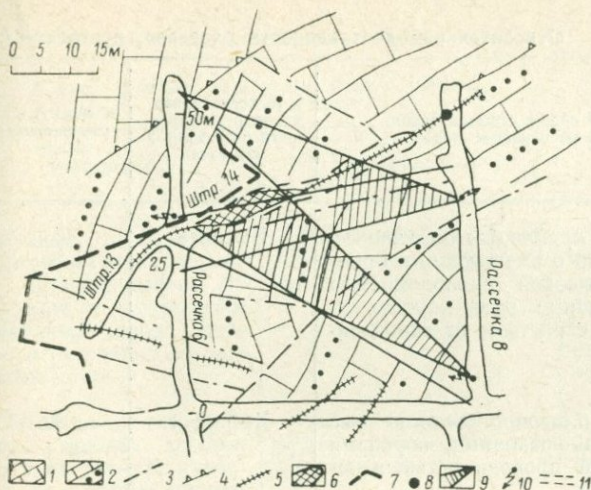


Рис. 63. Погоризонтный план участка штольни и результаты геофизических работ.

1 — известняки; 2 — гидротермально измененные рудовмещающие породы; 3 — тектонические нарушения типа сбросов; 4 — надвиги; 5 — жильобразные рудные тела; 6 — раздувы рудных тел; 7 — кривые градиента потенциала; 8 — положение питающего электрода; 9 — области радиотеней; 10 — стойки передатчика; 11 — горные выработки, пройденные для проверки результатов геофизических работ.

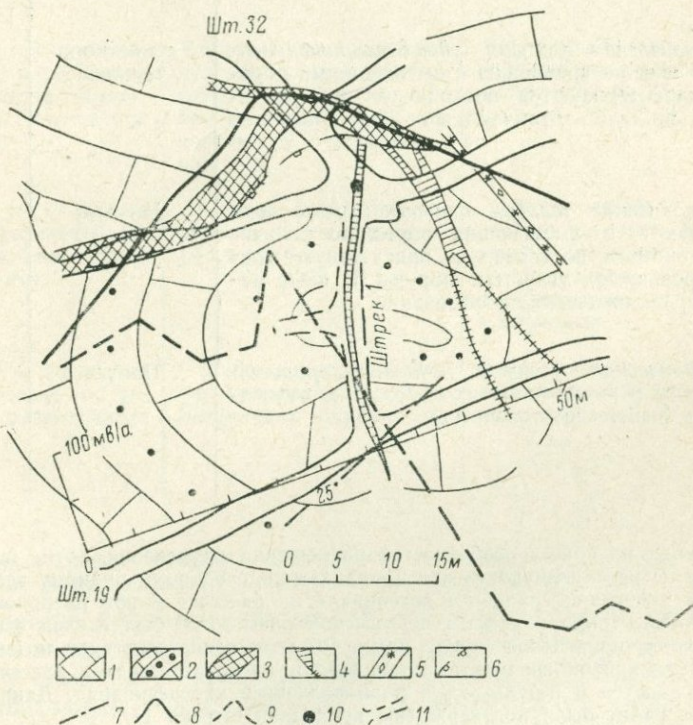


Рис. 64. Погоризонтный план штолен 19 и 32 и результаты геофизических работ.

1 — известняки; 2 — гидротермально измененные рудовмещающие породы; 3 — сульфидные руды; 4 — жильобразные рудные тела; 5 — карбонатные прожилки; 6 — надвиги; 7 — тектонические нарушения типа сбросов; кривая: 8 — потенциала, 9 — градиента потенциала; 10 — положение питающего электрода; 11 — горные выработки, пройденные для проверки результатов геофизических работ.

Относительная достоверность разрезов, построенных

Краткая характеристика общих геофизических свойств рудных тел и вмещающих пород	Относительная степень достоверности разведочных разрезов	Относительная оценка, баллы

Исходя из общих особенностей размещения оруденения, эти пересечения вначале не рассматривались как принадлежащие единому рудному телу. На основании измерений градиента потенциала по расщелке 6 при расположении питающего электрода в рудном пересечении расщелки 8 был сделан вывод о непрерывности оруденения между ними. Об этом свидетельствует четкий переход через нуль кривой градиента потенциала в месте пересечения расщелки 6. Это подтверждается и результатами радиоволнового просвечивания. Данные геофизических работ были подтверждены проходкой штрека 14.

При построениях погоризонтного геологического плана штолен 19 и 32 (рис. 64) рудное пересечение штольни 32 в месте расположения питающего электрода не увязывалось первоначально с жильным подсечением штольни 19 (учитывались их различные элементы залегания). На основании работ методом электроразведки на постоянном токе по схеме заряда при измерениях по штольне 19 устанавливается взаимосвязь этих рудных пересечений. Этот вывод сле-

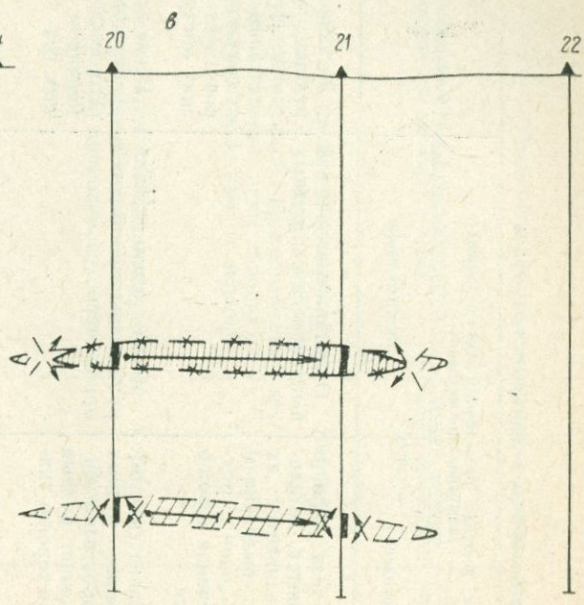
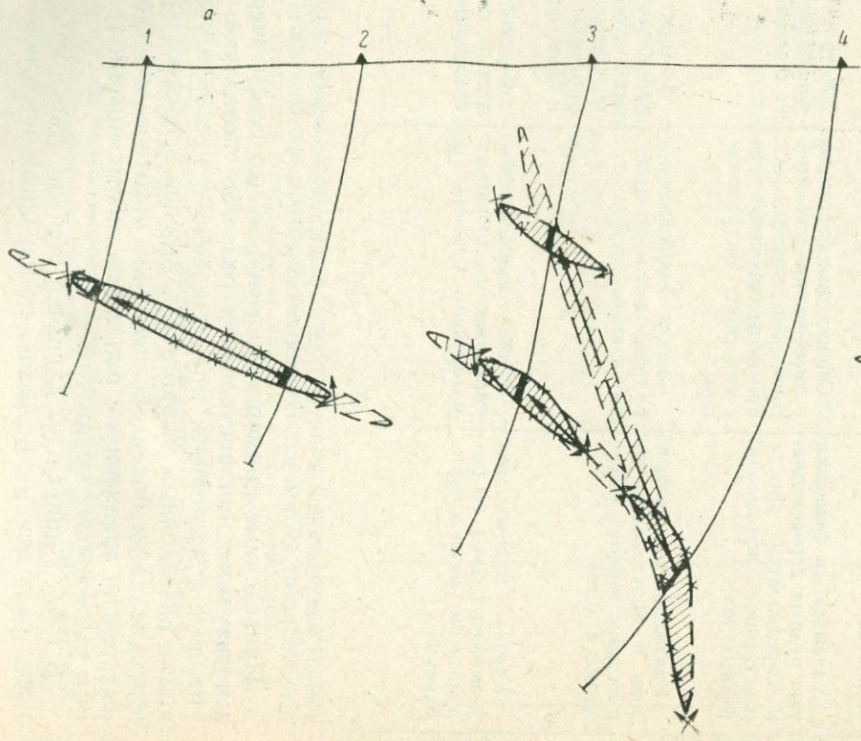
с помощью скважинных геофизических методов

Полнота решения разведочных задач с помощью геофизических методов		Особенности интерполяции и экстраполяции
Интерполяция	Экстраполяция	
<p>Рудные тела хорошо оконтуриваются, детально устанавливается их строение с выделением безрудных „окон“, рудные пересечения хорошо увязываются</p> <p>Устанавливается общее строение рудных тел и их пространственное положение, рудные пересечения хорошо увязываются</p> <p>Увязываются сульфидные рудные пересечения и определяется пространственное положение рудных тел</p> <p>Увязывается рудная зона и определяется ее пространственное положение в целом</p> <p>Увязка рудных тел возможна только по результатам разведочного бурения</p>	<p>Оконтуриваются места выклинивания рудных тел</p> <p>Места выклинивания рудных тел оцениваются приближенно</p> <p>Оценка выклинивания рудных тел производится грубо, но точнее, чем при неограниченной геологической экстраполяции</p> <p>Оценка выклинивания рудной зоны производится грубо</p> <p>Места выклинивания определяются только по материалам бурения</p>	<p>Детальное строение рудных тел устанавливается при изменчивом залегании рудных тел и исключается многовариантность геологических построений</p> <p>Исключается многовариантность геологических построений при изменчивом залегании рудных тел</p> <p>Устанавливается непрерывность сульфидного оруденения</p> <p>Интерполяция и экстраполяция непосредственно рудных тел нередко затруднена, хотя при определенных условиях и возможна</p> <p>Скважинные геофизические исследования не применимы</p>

дует из анализа кривых потенциала и градиента потенциала. Результаты геофизических работ были в дальнейшем подтверждены проходкой штрека 1.

Приведенные примеры показывают, что геофизические методы, используемые при построениях разрезов, позволяют значительно уточнить и восполнить представление о пространстве, прилегающем к разведочным выработкам. Важной особенностью таких разрезов является более обоснованное и точное оконтуривание рудных тел по сравнению с разрезами, построенными только по данным разведочных выработок.

В табл. 9 приведены данные о степени относительной достоверности разведочных разрезов, построенных на основе результатов



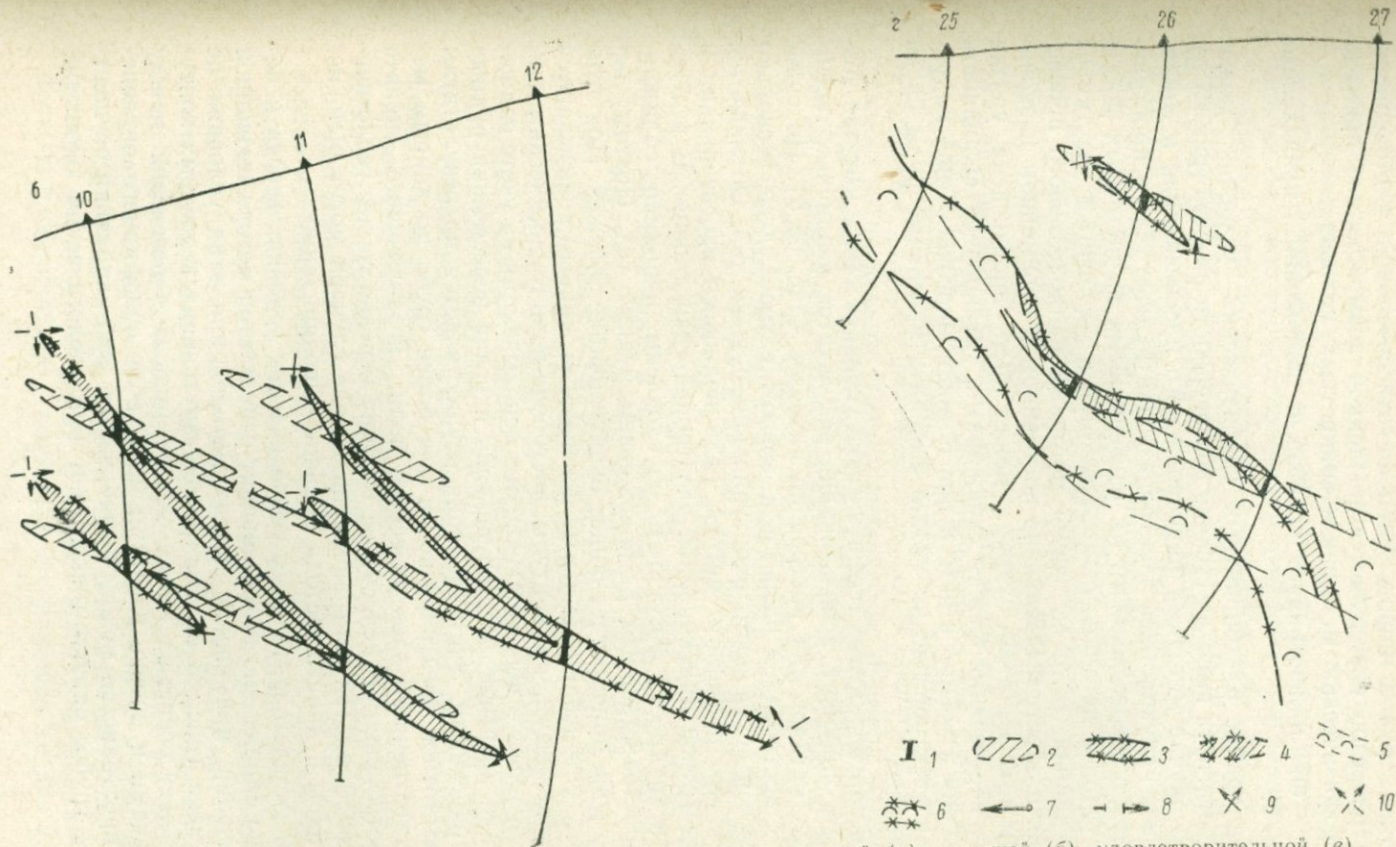


Рис. 65. Схемы степени достоверности разведочного разреза: высокой (а), хорошей (б), удовлетворительной (в) и низкой (г).

1 — рудные пересечения по керну буровых скважин и данным каротажа; 2 — предполагаемые контуры рудных тел по геологическим данным; 3 — достоверные, 4 — вероятные; контуры графитизированных пород по геофизическим данным; 5 — предполагаемые, 6 — достоверные; рудные пересечения по геофизическим данным; 7 — увязанные, 8 — не увязываемые; места увклинивания рудных тел по геофизическим данным; 9 — достоверные, 10 — вероятные.

геофизических исследований при различных геофизических характеристиках руд и пород. Степень относительной достоверности таких разрезов определяется различной возможностью применения геофизических методов в конкретных условиях.

Рис. 65 иллюстрирует основные положения, приведенные в табл. 9.

При крайне благоприятных геофизических условиях может быть достигнута высокая степень достоверности разреза (рис. 65, а). В этом случае методами радиоволнового просвечивания и многочастотной индукционной электроразведки рудные тела в пространстве между пересечениями их разведочными выработками достаточно точно и детально оконтуриваются и уточняются участки их выклинивания. В то же время методами радиоволнового просвечивания и электроразведки на постоянном и переменном низкочастотном токе по схеме заряда может быть произведена увязка рудных пересечений между скважинами, установлена сплошность оруденения и «окна» в нем, а при помощи многочастотной индукционной электроразведки можно выделить массивные руды среди вкрапленных.

При благоприятных геофизических условиях также имеется возможность широкого использования результатов различных геофизических методов для построения разрезов (рис. 65, б). По сравнению с построением разрезов в первом случае здесь несколько ухудшается детальность оконтуривания рудных тел. Объясняется это тем, что применять методы радиоволнового просвечивания и многочастотной индукционной электроразведки сложно. В частности, эти трудности могут быть обусловлены, например, сближенным пространственным расположением рудных тел. Поэтому основную роль приобретает общее оконтуривание залежей. При этом контуры, установленные по геофизическим данным, оказываются более надежными, чем контуры, построенные по геологическим данным, поскольку в первом случае они основываются на учете сплошности или прерывистости оруденения и углов пересечения рудных тел выработками. Экстраполяция осуществляется по результатам многочастотной электроразведки или более грубо по данным метода естественного электрического поля, позволяющего оценить распространение оруденения на глубину нередко точнее геологических приемов. При экстраполяции в ряде случаев могут быть использованы и данные метода вызванной поляризации.

При удовлетворительных геофизических условиях всегда и безусловно оправданно использование результатов метода вызванной поляризации, применение других методов при этих условиях не эффективно (рис. 65, в). Построение внутренних вероятных контуров залежей основывается на увязке рудных пересечений между скважинами и оценке развития масштабов сульфидного оруденения в пространстве между выработками. Экстраполяция осуществляется грубо, однако точнее, чем при геологическом оконтуривании.

Как следует из рис. 65, *а—в*, три рассмотренных вида условий обеспечивают составление более надежных и полных разрезов по сравнению с составленными только на основании пересечений разведочными выработками, поскольку при относительно сложном строении месторождений и изменчивом залегании рудных тел исключается многовариантность истолкования полученных данных.

Низкая степень достоверности разрезов (рис. 65, *г*), получаемых при помощи геофизических данных, возникает при широком развитии на разведываемой площади графитизированных, углистых и других пород, характеризующихся высокой проводимостью и поляризуемостью. В этом случае возможно проследивать, определять положение и оконтуривать в блоках между скважинами лишь рудовмещающую толщу в целом без получения информации об отдельных рудных телах. Вместе с тем определение границ рудовмещающих пород может иногда весьма существенно повлиять и на оконтуривание рудных тел, как это видно на рис. 65, *г*.

В тех случаях, когда графитизированные или углистые породы пространственно разобщены с рудными телами, представляется возможным получить достаточно хорошую информацию непосредственно по последним. Такие практические примеры имеются.

При низкой степени достоверности построения разрезов для увязки рудных пересечений между собой целесообразно использовать геохимические приемы, основывающиеся на закономерности корреляционных связей микрокомпонентов, свойственных определенным рудным телам. В целом ряде случаев изучение первичных ореолов окажет помощь в установлении пространственного положения рудных тел. Геохимические приемы построения разрезов можно рекомендовать и при неудовлетворительных условиях, т. е. когда геофизические методы вообще не применимы.

Для того чтобы в каждом конкретном случае можно было бы оценить и наглядно увидеть, какие контуры рудных тел установлены с помощью скважинной геофизики, необходимо на соответствующих графиках (разрезах) отображать данные геофизических исследований специально подобранными легко читаемыми знаками. Особенно это важно демонстрировать на графике, касающемся подсчета запасов.

При этом необходимо соблюдать следующие условия: с одной стороны, результаты геофизических работ должны нести первоначальную информацию и, с другой — быть наглядными, легко интерпретируемыми при вынесении их на геологическую основу к подсчету запасов. Первому условию удовлетворяют разрезы, приведенные на рис. 61—64. Они наряду с журналами полевых наблюдений так же, как и документация разведочных выработок, журналы опробования и другие, являются первичным материалом, представляемым к подсчету запасов. При вынесении результатов геофизических работ на графические материалы к подсчету запасов необходимо иметь в виду, что последние часто несут значительную цифровую нагрузку. В связи с этим геофизические данные должны изображаться с помощью специальных знаков (рис. 65).

Схема изображения результатов геофизических работ, вынесенных непосредственно на графику блокировки запасов, приведена на рис. 66. При этом знаки должны отражать суммарные ре-

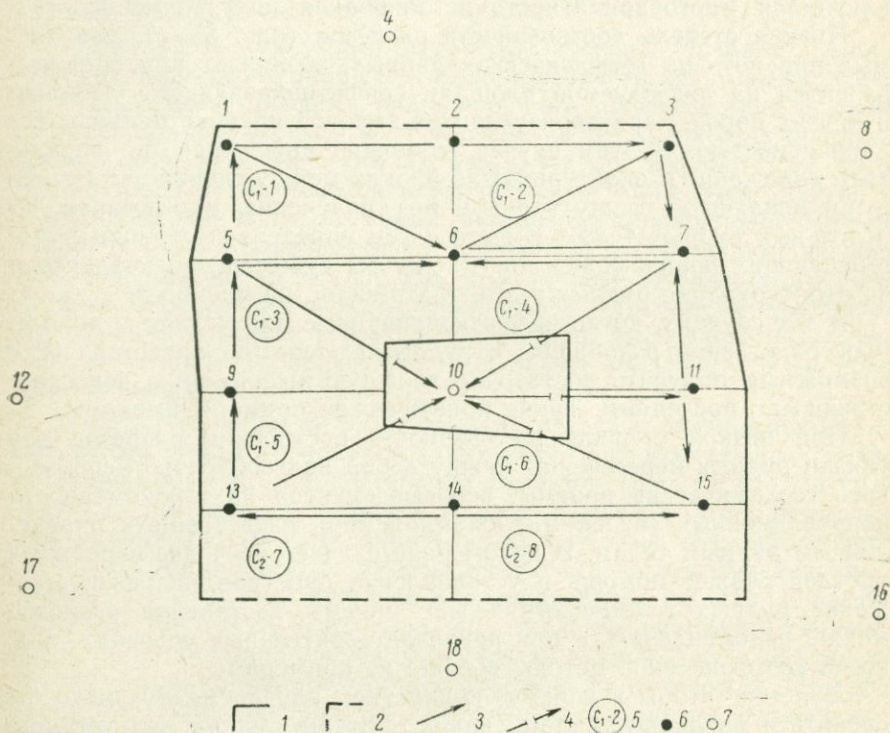


Рис. 66. Схема изображения результатов геофизических работ на продольной проекции крутопадающего скрытого тела с блокировкой запасов.

Контур рудного тела по данным: 1 — геофизическим; 2 — геологическим; 3 — сплошность рудного тела; 4 — разрыв рудного тела; 5 — категория запасов с номером подсчетного блока; буровые скважины: 6 — пересечение промышленные руды, 7 — не встретившие промышленные руд.

зультаты применения комплекса геофизических методов и быть понятны не только специалисту-геофизику, но и геологу-разведчику. Все эти материалы позволят более объективно и обоснованно производить оценку подсчета запасов рудных месторождений.

Глава V. Рекомендуемая методика разведки с использованием скважинных геофизических и геохимических методов

В предыдущей главе рассмотрены возможности решения с помощью скважинных геофизических и геохимических методов некоторых разведочных задач при минимальных затратах объемов буровых и горных работ. Однако до настоящего времени, несмотря на очевидную эффективность, скважинные геофизические методы на стадии разведочных работ применяются только эпизодически и не оказывают влияния на общую методику разведки в вопросах более рационального размещения скважин или горных выработок и существенного сокращения их числа. Иными словами, возможности скважинной геофизики используются не в полной мере и экономическая эффективность ее полностью не раскрывается.

Как видно из материалов главы IV, основные возможности скважинных геофизических методов заключаются в определении геометрии рудных тел, причем в благоприятных условиях пространственное положение и морфология их устанавливаются вполне надежно и с достаточной детальностью.

В настоящее время разведка месторождений с линейно- или плосковытянутыми рудными телами производится буровыми скважинами и горными выработками, располагаемыми по прямоугольной или квадратной сетке с постоянным расстоянием между ними. По результатам проходки скважин или горных выработок оконтуривается промышленное оруденение в плоскости рудного тела, а по данным опробования отдельных выработок подсчитывается среднее содержание полезных компонентов по рудному телу или отдельным его участкам. Размеры разведочной сети обычно принимаются в соответствии с рекомендованными в инструкциях по применению классификации запасов твердых ископаемых для месторождений II группы, к которой в большинстве своем относятся месторождения рассматриваемых типов.

Широкое применение комплекса скважинных геофизических и геохимических методов при разведке подобного типа месторождений для определения геометрических параметров рудных тел позволяет решать основные задачи разведки со значительно меньшим количеством буровых скважин или горных выработок. Благодаря

информации, получаемой от этих методов, появляется возможность располагать выработку не по сетке с постоянным, заранее выбранным расстоянием между выработками, а более целенаправленно для проверки и уточнения данных, полученных геофизическими методами, что позволяет производить оконтуривание рудных тел значительно меньшим количеством выработок.

На стадии предварительной разведки использование рационального комплекса геофизических и геохимических исследований позволяет существенно изменить всю систему разведочных выработок за счет их сокращения и наиболее оптимального расположения по неравномерной сети.

В составе рационального комплекса могут сочетаться следующие геофизические методы: естественного электрического поля, вызванной поляризации, постоянного тока, радиопросвечивания, индукционной электроразведки, разные виды каротажа. Из геохимических методов используются первичные ореолы и геохимическая корреляция. Большое значение может иметь многозачное направленное бурение.

При детальной разведке скважинные и шахтные геофизические методы могут помочь в решении задач по детализации контуров рудных тел и обеспечить сокращение проходки некоторого числа рассечек или буровых скважин, не оказывая заметного влияния на общую систему разведки.

В рассматриваемом случае в рациональном комплексе используются в основном радиопросвечивание, электрическая корреляция, индукционная электроразведка, разные виды каротажа.

Большое значение для эффективности разведочных работ имеет рациональное комплексирование различных геофизических, геохимических и других методов для конкретных условий. Комплекс методов должен подбираться в соответствии с задачами, возникающими в различные периоды разведки, и конкретными геологическими условиями, причем так, чтобы эти методы могли взаимно дополнять и контролировать друг друга.

Положительное влияние скважинных геофизических методов выражается прежде всего в более точном составлении геологических разрезов по разведочным профилям, являющимся основой изучения месторождения и подсчета запасов полезных ископаемых. Выше было показано, насколько применение этих методов повышает надежность геологических построений и увязки рудных разрезов при составлении разрезов. Особенно это относится к случаям так называемой многовариантной увязки, когда возможность различных интерпретаций разведочных данных заставляет прибегать к проходке дополнительных выработок или снижению категорий при подсчете запасов.

Существенную роль играют данные этих методов и при увязке разрезов между собой. Это позволяет в ряде случаев с достоверностью делать геологические построения при больших расстояниях между разведочными профилями по сравнению с общепринятыми.

Указанные обстоятельства позволяют существенно сократить объемы буровых и горных работ при разведке в расчете на 1 т разведываемого металла.

§ 1. МЕТОДИКА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РАЗВЕДКИ

Рациональная методика предварительной разведки требует уже в начальной фазе работ определенной суммы сведений по месторождению, позволяющих целенаправленно располагать выработки для определения общих контуров рудных тел и решения остальных задач предварительной разведки.

Данные, которые необходимо иметь при проектировании предварительной разведки месторождения, выявляются на поисково-разведочной стадии и должны освещать следующие вопросы.

1. Промышленный тип месторождения.
2. Пространственное положение и размеры основных рудных тел по простирацию (в общих чертах).
3. Элементы залегания основных рудных тел (предварительные данные).
4. Физические свойства вмещающих пород и руд.

Иными словами, при проектировании предварительной разведки месторождения помимо общих черт геологического строения участка должно быть известно положение выходов основных рудных тел, что позволяет целенаправленно располагать выработки для их оконтуривания. Имеющиеся данные об элементах залегания рудных тел разрешают выбрать оптимальные направления разведочных профилей. Наконец, знание физических свойств пород и руд дают возможность наметить эффективные для данных условий геофизические и геохимические методы разведки, установить предельные расстояния между выработками и оценить надежность интерпретации геофизических данных.

Следует отметить, что выяснение всех этих вопросов предусмотрено методическими указаниями по проведению поисково-разведочного этапа, и его результаты являются необходимыми для обоснованной промышленной оценки месторождения, которая обязательно должна предшествовать постановке предварительной разведки.

На практике несоблюдение этих условий часто приводит к необоснованной постановке разведочных работ на объектах, не имеющих промышленного значения. В результате подобного подхода в детальную разведку передается всего около 10% предварительно разведанных месторождений [Ажикеев и др., 1965 б], а в промышленное освоение и того меньше.

Пути усовершенствования поисково-разведочных работ, основанные на использовании скважинных геофизических и геохимических методов, подробно изложены в специальном руководстве [Зиверт и др., 1968], а некоторые дополнительные рекомендации приведены в главе III настоящего руководства.

Выбор и обоснование мест заложения буровых профилей и отдельных скважин для оконтуривания рудных тел

Как уже указывалось, основной задачей предварительной разведки является геометризация рудных тел, т. е. определение их положения и формы, а также среднего содержания полезных компонентов. Линейновытянутые формы рудных тел, рассматриваемые здесь, лучше всего геометризуются системой параллельных разрезов как вертикальных, так и горизонтальных, в соответствии с чем разведка месторождений и ведется системой разведочных профилей или разрезов. Ниже будут приведены основные принципы выбора мест заложения профилей и отдельных скважин, соответствующие предлагаемой системе предварительной разведки месторождений.

Если протяженность основных рудных тел по простиранию должна быть оценена на поисково-разведочной стадии работ, то в начале предварительной разведки необходимо определить максимальную протяженность оруденения на глубину, что позволит более уверенно произвести промышленную оценку месторождения. Наибольшую глубину оруденения по падению наиболее вероятно ожидать в центре простирания основного рудного тела, поэтому здесь и рекомендуется задавать первый разведочный профиль, именуемый в дальнейшем «центральный» (рис. 67). Положение центральной части рудного тела определяется по данным прослеживания его выхода поверхностными выработками, картировочными скважинами, а также (особенно для «слепого» оруденения) по данным геофизических и геохимических исследований.

При определении центральной части рудного тела необходимо учитывать возможность склонения оруденения, которое обычно удастся установить по данным наблюдений методом заряда. При наличии ясно выраженного склонения центральный профиль следует располагать над кромкой выхода рудного тела со стороны склонения, так как выходящее на эрозионный срез оруденение будет прослежено на наибольшую глубину по падению.

При крутом падении рудных тел скважины в центральном профиле располагаются с расчетом подсечения рудного тела с интервалом 100—150 м по его падению. Такое расстояние обычно отвечает радиусу эффективного действия большинства скважинных геофизических методов, что позволяет с их помощью производить увязку рудных пересечений между отдельными скважинами. Следует отметить, что в инструкциях ГКЗ по применению классификации запасов твердых полезных ископаемых для месторождений второй группы, к которым относятся рассматриваемые пластообразные месторождения сульфидных руд, именно такие расстояния рекомендуются для подсчета запасов по категории C_1 .

Центральный профиль проходится до полного пересечения оруденения на глубине с выходом 1—2 скважин за пределы промышленного оруденения или в случаях, когда оруденение уходит на

очень большие глубины, до принятого предельного горизонта, определяемого технико-экономическими условиями эксплуатации месторождения. Для рассматриваемых типов месторождений такой предельной глубиной обычно является 500—700 м от поверхности. Нижняя граница оруденения проверяется помимо законтурных

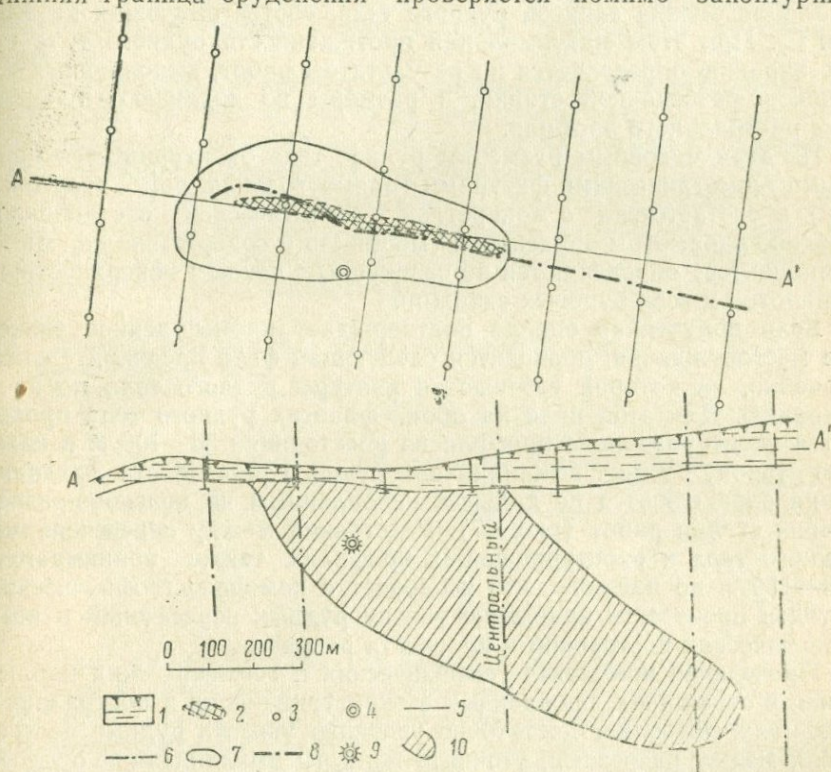


Рис. 67. Рекомендуемое расположение профилей при предварительной разведке месторождений.

1 — наносы; 2 — выход рудного тела под наносы; 3 — картировочные скважины; 4 — глубокая поисково-разведочная скважина; 5 — поисково-разведочные профили; 6 — буровые предварительной разведки; 7 — контур наземной аномалии ВП, по которой выделена перспективная для поисков площадь; 8 — ось аномалии метода заряда (или заряда ВП) при заземлении в скважине; 9 — точка заряда в поисково-разведочной скважине; 10 — контур рудного тела в вертикальной проекции.

скважин геофизическими и геохимическими методами. Этими же методами уточняется увязка в профиле рудных пересечений, геологических контуров, проверяется сплошность оруденения и т. п. Для этих целей чаще всего используются методы радиоволнового просвечивания, многочастотной индукционной электроразведки и электрической корреляции при высокой электрической проводимости руд или метод вызванной поляризации в различных модификациях при плохой проводимости или вкрапленной текстуре руд. При необходимости производится также корреляция рудных подсечений геохимическим методом. Попутно в околоскважинном пространстве

могут быть выявлены слепые, сопутствующие рудные тела, фиксируемые в этом случае отходящими стволами многозабойного бурения.

После проходки центрального профиля в совокупности с данными поисково-разведочной стадии может быть сделана более достоверная оценка запасов рудного тела, соответствующая категории S_2 . При этом максимальная протяженность рудного тела по простиранию определяется по результатам работ, выполненных на поисково-разведочной стадии, а размеры по падению — по данным центрального профиля.

По этим основным размерам рудное тело оконтуривается простыми геометрическими фигурами (прямоугольник, ромб, треугольник) в соответствии с конкретной геологической обстановкой. Средние параметры оруденения (мощность и содержание полезных компонентов) определяются по совокупным данным поверхностных выработок и всех буровых скважин.

Если полученная оценка подтверждает промышленное значение месторождения, проводится следующая фаза предварительной разведки, на которой уточняются контуры рудного тела по простиранию. Для этой цели на обоих флангах рудного тела проходятся оконтуривающие профили на расстояниях 50—100 м в каждую сторону от мест выклинивания рудного тела. Места выклинивания определяются по данным, накопленным на поисково-разведочной стадии работ (рис. 67). Расстояния между пересечениями рудного тела в оконтуривающих профилях также принимаются 100—150 м по падению, что позволяет с помощью геофизических методов произвести надежную увязку рудных пересечений и всех геологических построений в плоскости разреза.

Проведение комплекса геофизических и геохимических наблюдений в скважинах, пройденных в оконтуривающих и центральном профилях, позволяет достаточно уверенно увязать рудные пересечения между разрезами, уточнить контуры выклинивания рудного тела и установить его общее строение. Однако для этого необходимо, чтобы расстояние между профилями не превосходило бы радиуса эффективного действия основных скважинных геофизических методов, составляющего в благоприятных условиях для метода заряда 300—400, для радиопросвечивания до 400 и заряда ВП — 150—200 м. Поэтому при большой протяженности рудного тела по простиранию между центральным и внутренним оконтуривающим профилями приходится задавать промежуточные скважины. Количество и расположение таких скважин определяются сложностью строения рудного тела и конкретной геологической обстановкой. При выборе мест заложения дополнительных скважин и определения глубины подсечения ими рудного тела необходимо учитывать наиболее эффективное использование скважин для проведения в них всех необходимых геофизических исследований.

Для пологозалегающих рудных тел при условии возможности геофизических исследований в варианте скважина — поверхность по данным геофизических исследований устанавливается не только

протяженность залежей по простиранию, но и весь контур рудного тела в плане. В этом случае задачей центрального профиля является подтверждение правильности оконтуривания промышленного оруденения по геофизическим данным. В дальнейшем контур рудного тела может заверяться единичными скважинами, располагаемыми в местах предполагаемой наибольшей изменчивости контура.

В итоге при рекомендуемой системе расположения разведочных профилей количество скважин, затрачиваемых на предварительную разведку, значительно сокращается по сравнению с применяемой системой равномерных разведочных сеток.

Для тел небольшого и среднего размера (протяженностью по простиранию менее 500 и на глубину до 300—400 м) общее число скважин предварительной разведки по рекомендуемой методике определяется следующим расчетом:

Скважины, пройденные на поисково-разведочной стадии	1—2
Центральный профиль	3—4
Оконтуривающие профили:	
внутренние	6—8
внешние	4—6
Дополнительные скважины для уточнения строения рудного тела	2—4
<hr/>	
Всего	16—24
	(в т. ч. за- контурных 4—6)

Для крупных рудных тел большой протяженности и сложного состава количество скважин увеличивается за счет бурения промежуточных профилей и составляет 25—40. При разведке по сетке на месторождениях второй группы при предварительной разведке пробуривается обычно 30—40 скважин для мелких и средних рудных тел и до 100—200 — для крупных.

Определение средних параметров оруденения

Кроме общих контуров рудного тела по данным буровой разведки необходимо определять средние параметры оруденения (мощность и содержание полезных компонентов) с точностью, достаточной для подсчета запасов категорий C_1 и C_2 . Количество наблюдений (в данном случае пересечений скважинами), необходимое для определения среднего значения признака с заданной точностью, зависит от степени изменчивости этого признака. Последняя определяется так называемым коэффициентом вариации. Для месторождений рассматриваемого типа коэффициенты вариации обычно составляют: для мощности 60—80%, а для содержаний в полиметаллических месторождениях 40—60% и в сульфидно-касситеритовых до 80—120%.

Количество наблюдений, необходимое для выведения среднего с заданной точностью, определяется известной формулой математической статистики

$$n = \frac{v^2}{p^2},$$

где n — необходимое число наблюдений (скважин); v — коэффициент вариации; p — допустимая погрешность выведения среднего.

Существующая в СССР классификация запасов твердых полезных ископаемых не имеет установленного математического определения точности той или иной категории запасов. Разными авторами в разное время предлагались различные цифры точности определения запасов. В большинстве этих предложений допустимая погрешность для запасов категории C_1 определяется в пределах 40—60%. При коэффициенте вариаций 100% для выведения среднего с допустимой погрешностью 40—50% необходимое количество выработок составит всего 4—6.

Следует отметить, что количество скважин для разведки месторождения отнюдь не определяется только необходимостью выведения средних данных с определенной точностью. Главным образом оно зависит от необходимости полного оконтуривания рудных тел. Поэтому пользоваться приведенной формулой для определения количества скважин, а отсюда устанавливать густоту сети было бы, конечно, неправильно. Нужное количество скважин и их расположение определяется самой рекомендуемой методикой разведки (проходка центрального и оконтуривающих профилей, промежуточных скважин и т. п.). Расчет по вышеприведенной формуле показывает только, что во всех случаях количество наблюдений получается достаточным для надежного определения средних параметров оруденения по рудному телу. Получаемое при разведке по рекомендуемой методике количество скважин всегда обеспечивает выведение средних данных с максимальной погрешностью 25—30%, что можно считать вполне допустимым для подсчета запасов по категории C_1 .

В отдельных случаях при очень большой изменчивости параметров оруденения, когда количество скважин может все же оказаться недостаточным, следует применять многозабойные скважины, позволяющие получить несколько рудных пересечений из одного основного ствола.

Анализ представительности рекомендуемой методики предварительной разведки на практических примерах

Представительность рекомендуемой системы разведки можно проверить сравнением ее результатов с данными, полученными при разведке месторождений по равномерной разведочной сети. Ниже приводится такое сравнение, выполненное по трем произвольно выбранным объектам — по двум полиметаллическим месторожде-

ниям Рудного Алтая и по одному сульфидно-касситеритовому месторождению Хабаровского края.

Первое полиметаллическое месторождение является типичным для Алтайского типа и представлено крутопадающей сульфидной залежью в измененных вулканогенно-осадочных породах. Месторождение обнаружено при наземной съемке естественного электрического поля, установившей четкую аномалию интенсивностью до 170 мв, вытянутую по простиранию пород. К западу от центра аномалии затухает быстрее, чем к востоку, что позволяет установить место выхода оруденения на поверхность и предположить его восточное склонение.

Для подсечения оруденения в районе центра аномалии была пробурена скв. 311 (рис. 68, а), которая встретила промышленное оруденение на глубине около 200 м. В скважину был помещен источник тока и выполнены наблюдения методом заряда. Методом заряда при измерениях на поверхности основное рудное тело прослежено по простиранию на расстояние около 1000 м, причем результаты наблюдений говорили об очень высокой проводимости руд. По этим данным, полученным на поисково-разведочной стадии, месторождение было признано заслуживающим разведочных работ. Предварительная разведка проведена буровыми скважинами по сети 200×200 м. Принадлежность рудных подсечений в различных скважинах к единому рудному телу проверялась методом заряда в варианте скважина — скважина. Всего для предварительной разведки основного рудного тела было пробурено 22 скважины, в том числе 3 законтурных, не встретивших промышленного оруденения (рис. 68, з). По результатам предварительной разведки подсчитаны запасы по категориям С₁ и С₂. Месторождение принадлежит к сравнительно выдержанным (II группа по классификации ГКЗ), коэффициенты вариации составляют: для мощности 43%, для содержания меди, свинца и цинка соответственно 43, 48 и 35%.

При проведении предварительной разведки по рекомендуемой методике первой фазой работ здесь должно явиться определение фактической глубины оруденения и уточнение его основных параметров — мощности рудного тела и содержания металлов. Для этой цели должен проходиться центральный буровой профиль. Место заложения центрального профиля с учетом предполагаемого склонения оруденения должно быть выбрано не в районе максимума аномалии ЕП, а восточнее. Таким профилем может явиться профиль 3 со скв. 314, 361 и 397 (68, б).

В приведенном примере центральный профиль не оконтуривает полностью оруденение на глубину, однако дальнейшая разведка в этом направлении может и не производиться, так как достигаемая глубина 600 м от поверхности является предельной и разведка более глубоких горизонтов в настоящее время считается нецелесообразной.

Скважины в центральном профиле должны исследоваться геофизическими методами, в результате чего будет с несомненностью установлена идентичность рудных подсечений в скважинах с

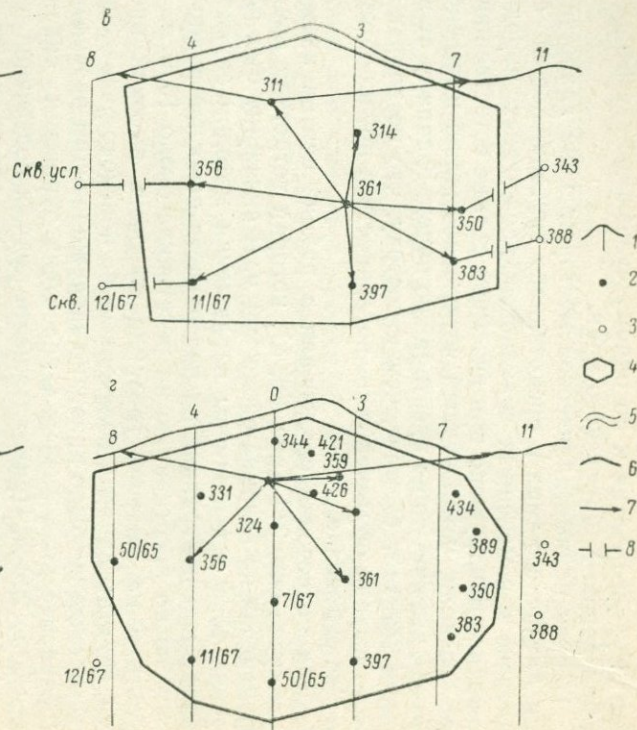
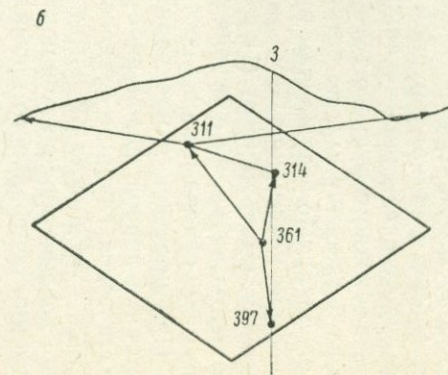
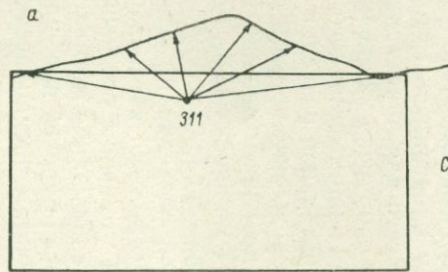
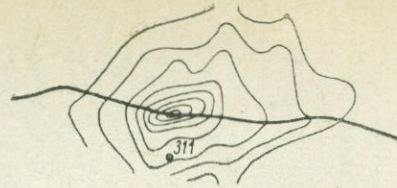


Рис. 68. Рекомендуемая методика предварительной разведки полиметаллического месторождения, залегающего в вулканогенно-осадочных породах: *а* — поисково-разведочная стадия; *предварительная разведка по рекомендуемой методике*: *б* — I фаза, *в* — II фаза; *г* — фактическая разведка.

1 — разведочные профили; скважины; 2 — пересекшие промышленное оруденение, 3 — безрудные; 4 — контуры промышленного оруденения; 5 — изолинии потенциала естественного электрического поля; 6 — ось проводимости по методу заряда; *электрическая связь*: 7 — наличие, 8 — отсутствие.

основным рудным телом, вскрытым скв. 311 и прослеженным на поверхности методом заряда.

Таким образом, с помощью методов корреляции и радиоволнового просвечивания уточняется положение рудного тела, его сплошность и протяженность в разрезе и одновременно выявляются сопутствующие рудные тела и зоны минерализации. По наблюдениям естественного поля и вызванной поляризации в скважинах и на поверхности оценивается вероятность полноты исследования разреза на глубину. В сочетании с наземной съемкой по методу естественного поля в разрезе отстраивается примерное распределение этого поля в продольном вертикальном разрезе и уточняется угол склонения и протяженность оруденения по склонению.

На рассматриваемой фазе работ уже может быть произведен подсчет запасов в рудном теле по категории C_2 . Форма рудного тела в вертикальной проекции может быть уподоблена ромбу, у которого одна диагональ берется по протяженности рудного тела, а другая по данным центрального профиля. Средняя мощность и содержание металлов, применительно к рассматриваемому примеру, вычисляются по данным четырех пройденных скважин. В сравнении с подсчетом запасов по результатам фактически проведенной разведки месторождения по 22 скважинам такая оценка дает следующие результаты (за 100% приняты фактически подсчитанные запасы), %:

Площадь рудного тела в вертикальной проекции	58
Средняя мощность рудного тела	140
Запасы руды	81
Среднее содержание:	
меди	116
свинца	113
цинка	108
Запасы суммы металлов	90

Сходимость результатов, как видно, вполне удовлетворительная и допустимая для категории C_2 (и даже C_1).

Следующей фазой предварительной разведки является уточнение контуров рудного тела по простиранию. Для этой цели по принятой схеме проходятся по 2 оконтуривающих профиля на каждом фланге залежи. В приведенном примере такими оконтуривающими профилями могут являться 8 и 4 на западном фланге и 7 и 11 на восточном (рис. 68, в). Фактически профиль 8 пройден частично еще в контуре рудного тела, по условиям рекомендуемой методики он должен быть дальше к западу за пределами контура, прослеженного на поверхности методом заряда, что и показано условно на рис. 68, в. Учитывая, что положение рудного тела на поверхности установлено достаточно надежно, в оконтуривающих профилях бурится только по 2 скважины.

Контуры выклинивания в профилях и между ними, сплошность рудного тела и идентичность рудных подсечений в отдельных скважинах уточняются методами радиоволнового просвечивания и заряда на постоянном или переменном токе в варианте скважина —

скважина. С учетом результатов этих работ контуры рудного тела определяются при такой системе разведки достаточно надежно и достоверность запасов вполне отвечает категории С₁.

Всего, таким образом, на предварительную разведку рудного тела может быть затрачено 12 скважин (из них 8 в контуре рудного тела) вместо 22 фактически пробуренных при разведке по сетке.

Результаты подсчета запасов по окончательным данным рекомендуемой системы разведки весьма несущественно отличаются от фактически подсчитанных по всем скважинам, %:

Площадь рудного тела в вертикальной проекции	98
Средняя мощность	115
Запасы руды	112
Среднее содержание:	
меди	105
свинца	103
цинка	103
Запасы суммы металлов	117

Приведенные результаты полностью подтверждают представительность рекомендуемой системы разведки.

Второе полиметаллическое месторождение, выбранное в качестве примера, представлено выдержанными протяженными сульфидными залежами, залегающими в пределах зоны рассланцованных и гидротермально измененных эффузивно-осадочных пород, превращенных в кварцево-серицитовые сланцы. Оруденение в виде пластообразных залежей почти вертикального падения представлено пиритом, галенитом, халькопиритом и другими сульфидами. Основную промышленную ценность месторождения представляют две залежи — Основная и Юго-восточная. Район месторождения перекрыт рыхлыми породами большой мощности, достигающими 100 м и более. Месторождение выявлено в процессе бурения картировочных скважин, которыми установлен выход Основной залежи под рыхлые породы.

Предварительная разведка месторождения проводилась наклонными буровыми скважинами, пересекающими рудные тела по сетке 80×120, 100×100 и частично 50×50 м, причем за счет искривления скважин разведочная сеть значительно искажалась (рис. 69). Детальная разведка Основной залежи велась горными выработками из разведочно-эксплуатационной шахты (РЭШ) системой штреков с высотой этажа 50 м, с проходкой восстающих через 60—80 м по простиранию залежи.

Месторождение является сравнительно выдержанным, коэффициенты вариации мощности и содержания металлов по отдельным скважинам составляют для мощности 60—80, для основных полезных компонентов 50—70%.

По рекомендуемой методике предварительная разведка месторождения могла бы быть проведена следующим образом.

На основании поисково-разведочных работ (наземная съемка по методу естественного поля, картировочные скважины) может

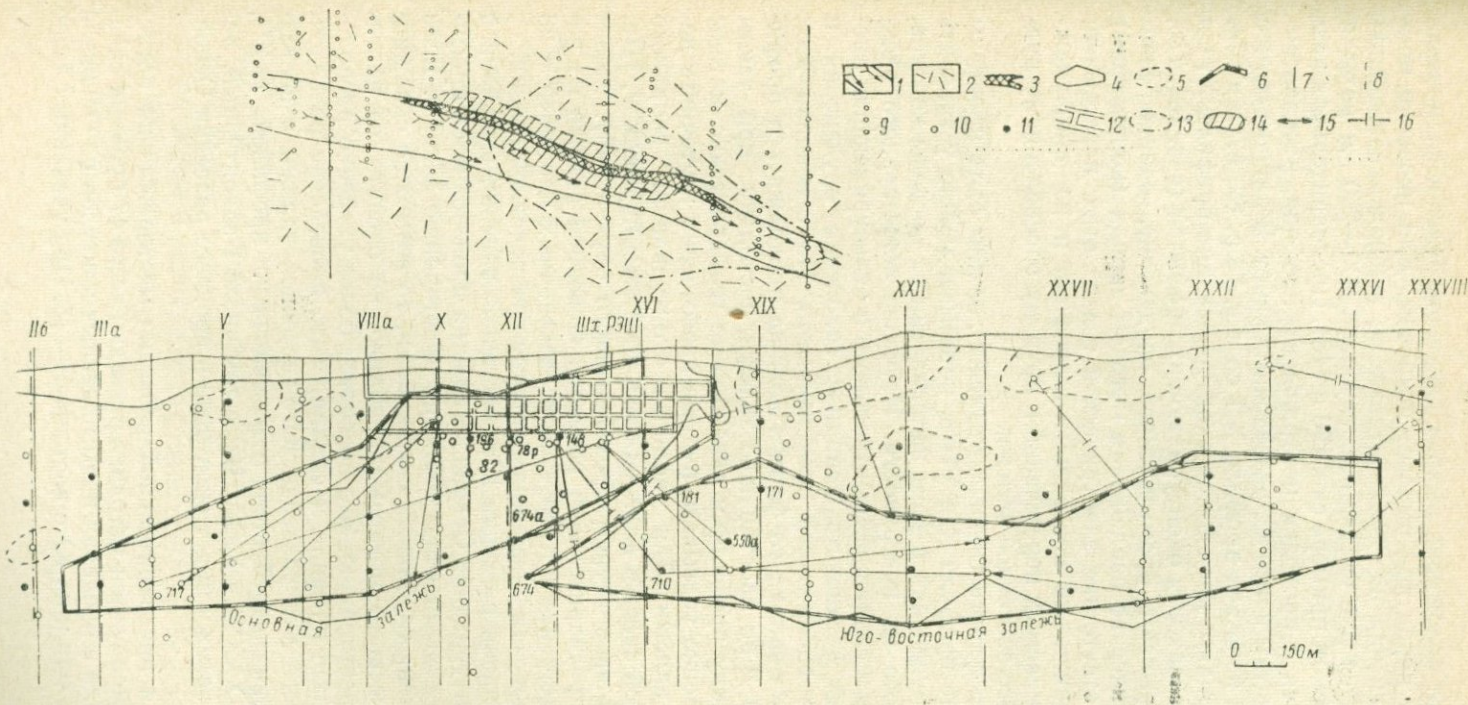


Рис. 69. Рекомендуемая методика предварительной разведки полиметаллического месторождения, залегающего в эффузивно-осадочных породах.

1 — кварцево-серицитовые сланцы; 2 — эффузивно-осадочная толща; 3 — выход оруденения под наносы; 4 — промышленный контур основных залежей по данным проведенной разведки; 5 — проекции контуров сопутствующих залежей; 6 — промышленный контур основных залежей по данным рекомендуемой методики; буровые профили разведки: 7 — проведенной, 8 — рекомендуемой методики; скважины: 9 — картировочные, 10 — буровые проведенной разведки, 11 — буровые рекомендуемой методики; 12 — горные выработки детальной разведки; контур аномалии естественного электрического поля: 13 — по наземной съемке, 14 — по измерениям в картировочных скважинах; электрическая связь между рудными пересечениями: 15 — наличие, 16 — отсутствие.

быть определено положение выхода Основной залежи на поверхность коренных пород под рыхлым покровом. Для проверки продолжения оруденения на глубину также на поисково-разведочной стадии проходятся две скважины глубиной 200—250 м каждая (в рассматриваемом примере скв. 196 и 148). Предварительная разведка начинается с проходки центрального профиля, располагаемого по результатам поисково-разведочных работ. В данном случае таким может являться профиль XII со скв. 78-р, 82, 674а и 674. На восточном фланге проходятся оконтуривающие профили XVI и XIX. Глубокие скважины оконтуривающих профилей (скв. 181, 710, 171, 550а) вскрывают промышленное оруденение, однако скважинные геофизические наблюдения методом заряда (корреляции) указывают на отсутствие электрической связи этих пересечений с рудными скважинами центрального профиля и на принадлежность рассматриваемых пересечений к другому обособленному рудному телу — Юго-восточной залежи.

На западном фланге Основной залежи должны быть пройдены оконтуривающие профили X и VIIа, которыми можно установить продолжение оруденения в этом направлении за пределы контура, зафиксированного на поверхности. Изучение естественного электрического поля в скважинах центрального и оконтуривающих профилей позволяет установить западное склонение оруденения и ориентировочно оценить его протяженность. На основании этих данных разведка западного фланга должна продолжаться профилями через 400 м по простиранию залежи, поскольку при таком расстоянии между профилями скважинные геофизические методы позволяют уверенно увязывать рудные пересечения и уточнять детали строения залежи. Для полного оконтуривания западного фланга Основной залежи должны быть пройдены профили V, IIIа, IIб (последний за контуром промышленного оруденения). Таким образом, для предварительной разведки Основной залежи по рекомендуемой методике потребуется 8 разведочных профилей с 28 скважинами, включая 2 скважины поисково-разведочной стадии.

Предварительная разведка Юго-восточной залежи, выявленной в процессе оконтуривания Основной, должна производиться профилями, располагаемыми через 400 м по простиранию залежи. Если залежь пересечена глубокими скважинами, то возможно скважинными геофизическими методами приближенно оценить ее протяженность по простиранию. Это позволяет более уверенно расположить разведочные профили и спланировать проведение разведочных работ. Всего для разведки Юго-восточной залежи в восточном направлении потребуется 5 разведочных профилей (XXII, XXVII, XXXII, XXXVI и XXXVIII), в том числе 1 законтурный. Западный фланг залежи будет оконтурен в процессе разведки Основной залежи.

В итоге для предварительной разведки месторождения потребуется по рекомендуемой методике разведки всего 47 буровых скважин, в том числе в пределах промышленных контуров по Основной залежи 17 скважин и по Юго-восточной — 15. При указанных выше

коэффициентах вариации, характеризующих изменчивость мощности и содержания металлов в залежах, такое количество пересечений гарантирует выведение средних данных с погрешностью в 15—20%, что вполне соответствует требованиям для подсчета запасов категории С₁.

Как видно из рис. 69, контуры рудных залежей при разведке по рекомендуемой методике очень близки к полученным при разведке по равномерной разведочной сети. Сходимость основных параметров оруденения и запасов по рудным залежам при фактически проведенной и рекомендуемой методике разведки характеризуется следующими цифрами, % к полученным при фактически проведенной разведке:

	Основная залежь	Юго-восточная залежь	Всего
Площадь залежи в вертикальной проекции	106	103	105
Средняя мощность	101	104	102
Запасы руды	107	107	107
Среднее содержание:			
меди	100	90	98
свинца	112	96	105
цинка	106	102	105
Запасы:			
меди	107	101	105
свинца	119	102	113
цинка	114	109	112
суммы металлов	113	106	110

Эти цифры показывают очень хорошую сходимость результатов разведки при общей затрате всего 47 скважин вместо 196 фактически пройденных на месторождении.

Третьим объектом сравнения выбрано сульфидно-касситеритовое месторождение в Хабаровском крае (рис. 70). Здесь оловянное оруденение приурочено к мощной и выдержанной зоне пропильтизированных пород. Зона эта прослежена канавами на большом протяжении, но промышленное оруденение на поверхности встречено только на сравнительно небольшом участке между профилями I и V. Однако оруденение имеет значительно большее распространение по склонению зоны. Оруденелые участки сложены кварц-турмалиновыми породами, содержащими сульфидно-касситеритовую минерализацию.

На поверхности оруденение вскрыто 12 канавами с интервалом около 20 м по простиранию. Предварительная разведка месторождения велась буровыми скважинами по сети 80×80 м. Всего на месторождении пробурено 142 скважины, из них 85 в пределах контура промышленных руд и 57 законтурных — безрудных. По результатам буровой разведки подсчитывались запасы по категориям С₁ и С₂. Детальная разведка месторождения начата проходкой двух штолен с высотой этажа 50 м. Мощность рудного тела колеблется

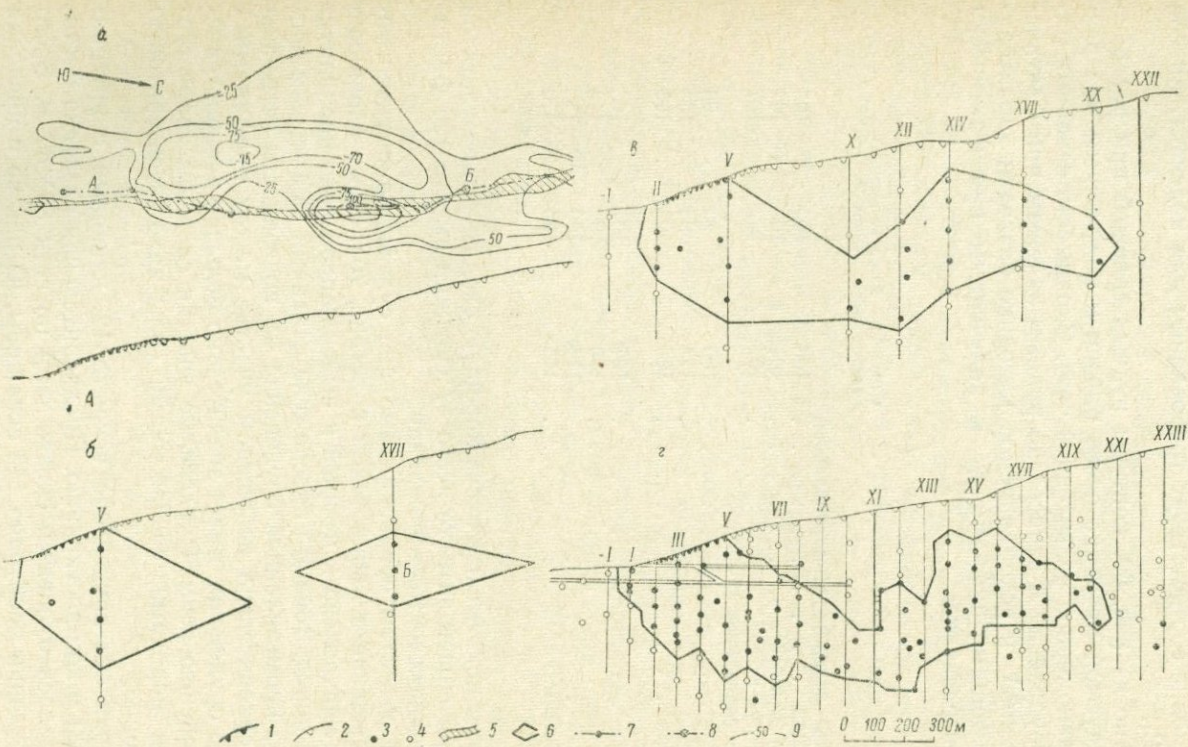


Рис. 70. Рекомендуемая методика предварительной разведки сульфидно-касситеритового месторождения: а — поисково-разведочная стадия; предварительная разведка по рекомендуемой методике: б — I фаза, в — II фаза; г — фактическая разведка.

Канавы: 1 — встретившие промышленное оруденение, 2 — безрудные; скважины: 3 — пересекшие промышленные руды, 4 — безрудные; 5 — выход на поверхность рудовмещающей зоны пропилитизации; 6 — контуры промышленного оруденения; ось аномалии проводимости по методу заряда: 7 — при заряде в точке А, 8 — при заряде в точке Б; 9 — изолинии потенциала естественного электрического поля.

в довольно широких пределах, содержания олова более постоянны. Коэффициенты вариации для мощности 83 и для содержания олова 55%. На поверхности месторождения была проведена съемка естественного электрического поля. В районе непосредственно выхода рудного тела на поверхность (профили I—V) отчетливой аномалии не получено. Четкая аномалия этим методом выявлена в районе профилей XIV—XVI, где северная «слепая» часть рудного тела максимально приближается к поверхности (рис. 70, а).

При помощи заряда в рудные пересечения отдельных скважин удается проследить простираание рудного тела по поверхности. Методом заряда была прослежена ось аномалии от профиля I до профиля XI, что определенно указывало на северное склонение основного выхода рудного тела. При помощи заряда в одной из скважин, пробуренных на северной аномалии естественного поля, северная «слепая» часть рудного тела прослежена в пределах профилей XIII—XXII; между осями южной и северной аномалий имеется разрыв.

Учитывая эти возможности геофизических исследований на месторождении, его предварительную разведку можно проводить следующим образом.

На поисково-разведочной стадии в средней части рудного выхода на поверхность бурится одна скважина для проверки наличия оруденения на глубине 150--200 м. С помощью метода заряда при расположении электрода в рудном пересечении скважины по поверхности прослеживается простираание рудного тела до профиля XI и устанавливается его северное склонение.

На этой стадии работ северная аномалия естественного поля связывается с самостоятельным слепым оруденением, не имеющим связи с основным рудным телом.

По этим данным проектируется первая фаза предварительной разведки: определение глубины оруденения путем проходки центрального профиля. На южном выходе рудного тела с учетом северного склонения (устанавливается методом заряда) центральный профиль располагается на северном фланге выхода — в данном случае он будет соответствовать профилю V (рис. 70, б). На северной аномалии естественного поля сразу же закладывается буровой профиль в центральной части аномалии. Этому положению отвечает профиль XVII. В одно из рудных пересечений этого профиля помещается электрод, а на поверхности прослеживается простираание рудного тела.

Предварительная проходка здесь одиночной поисково-разведочной скважины не рациональна, так как неизвестна глубина залегания слепого оруденения и невозможно заранее определить глубину такой скважины.

Предварительная оценка запасов и основных параметров оруденения по сумме двух рудных тел на этой фазе работ в сравнении с окончательным подсчетом запасов по месторождению дает следующие результаты, %:

Площадь рудного тела в вертикальной проекции	70
Мощность рудного тела	110
Запасы руды	74
Среднее содержание олова	117
Запасы олова	91

Как видно, предварительная оценка оруденения по данным всего 11 буровых скважин дает достаточно близкие к действительности результаты.

Второй фазой предварительной разведки является уточнение контуров рудного тела по простиранию путем проходки оконтуривающих профилей (рис. 70, в).

На южном фланге основного (южного) рудного тела оконтуривающими будут профили I и II, на северном — X и XII. Профили XII и XIV будут оконтуривающими для южного фланга северного слепого рудного тела. По результатам проходки этих профилей устанавливается непрерывность оруденения и непосредственная связь южного и северного рудных тел. На северном фланге месторождения ось аномалии метода заряда протягивается до профиля XXIII и оконтуривающими профилями должны быть XXII и XXIV. Однако уже профиль XXII не вскрывает промышленного оруденения, поэтому вместо внешнего оконтуривающего профиля XXIV должен быть пройден профиль XX, который и явится внутренним оконтуривающим.

Проведение во всех скважинах комплекса геофизических и геохимических исследований (методов заряда, вызванной поляризации, электрической и геохимической корреляции и др.) позволяет достаточно надежно увязать рудные пересечения отдельных скважин как в пределах одного разреза, так и между профилями.

В результате завершения второй фазы предварительной разведки при затрате 40 буровых скважин вместо 142 фактически пройденных (рис. 70, г) контуры рудного тела и параметры оруденения определяются достаточно точно и достоверность подсчета запасов будет вполне отвечать требованиям категории С₁. В сравнении с фактическими результаты подсчета запасов по рекомендуемой системе разведки составляют, %:

Площадь рудного тела в вертикальной проекции	108
Средняя мощность рудного тела	86
Запасы руды	92
Среднее содержание олова	94
Запасы олова	86

В заключение раздела заметим, что все приведенные примеры наглядно демонстрируют представительность рекомендуемой методики разведки и эффективность ее по сравнению с обычно применяемой буровой разведкой по равномерной сети с определенными расстояниями между выработками.

В отдельных конкретных случаях система расположения профилей и скважин может, конечно, изменяться и дополняться, но всегда должен выдерживаться общий принцип и последовательность проведения предварительной разведки:

- 1) определение выхода рудного тела на поверхность или проекции его простирания в случае «слепого» оруденения (выполняется на поисково-разведочной стадии);
- 2) установление максимальной глубины оруденения;
- 3) уточнение контуров оруденения на флангах;
- 4) уточнение внутреннего строения рудного тела и выявление сопутствующих рудных тел.

Общая последовательность проведения предварительной разведки, решаемые задачи и применяемые методы иллюстрируются табл. 10.

Следует подчеркнуть, что приведенная схема, опирающаяся на последовательное проведение работ по фазам, требует для полноценного и эффективного осуществления при ограниченном числе скважин обязательного использования геофизических, геохимических, ядерных и т. п. методов, пригодных для решения разведочных задач, при условии применения их в рациональной последовательности с расчетом взаимопроверки и нарастания информации.

Важным условием является также обязательное привлечение многозабойного направленного бурения для проверки геофизических и геохимических аномалий или геологических признаков и получения дополнительных данных о мощностях рудных тел и их качественном составе.

§ 2. МЕТОДИКА ДЕТАЛЬНОЙ РАЗВЕДКИ

Детальная разведка проводится на месторождениях или на отдельных их участках, получивших полсжительную промышленную оценку в результате предварительной разведки. Как указывалось в главе I, конкретными задачами детальной разведки являются: уточнение контуров и строения рудных тел, оконтуривание природных типов и промышленных сортов руд, безрудных «окон» и непромышленных участков в пределах рудных тел, а также решение задач, связанных с определением технологических свойств руд, горно-технических и гидрогеологических особенностей месторождения и т. п.

Значительное место в общем процессе детальной разведки могут занять скважинные геофизические методы. С их помощью может быть преобразована существующая методика и ускорен весь процесс разведки. Применение скважинной геофизики способствует значительному повышению достоверности решения некоторых задач детальной разведки, в частности с их помощью можно:

1. Уточнить форму и строение рудных тел с выделением безрудных участков.
2. Увязать рудные пересечения между разведочными выработками и характеризовать их непрерывность.
3. Уточнить места выклинивания рудных тел.
4. Исключить пропуск сопутствующих рудных тел.

Предварительная разведка по рекомендуемой методике	Частные задачи фазы	Способы решения задач
I фаза	1. Составление проекта предварительной разведки	На основе анализа данных поисково-разведочных работ с учетом результатов скважинных геофизических методов
	2. Определение протяженности оруденения на глубину (по падению), мощности и качественного его состава	Выбор места заложения опорного центрального профиля и проходки скважин. Каротаж, опробование керна
	3. Установление сплошности и деталей строения рудных тел	Методы скважинной геофизики (заряд, радиоволновое просвечивание, индукционная электроразведка, вызванная поляризация). Составление геологического разреза по профилю
	4. Определение склонений рудных тел и оценка размеров оруденения по склонению	Методы естественного электрического поля
	5. Выявление сопутствующих рудных тел	Методы радиоволнового просвечивания, заряда, индукционной электроразведки, вызванной поляризации, первичных ореолов, многозабойного бурения
	6. Оценка запасов по категории С ₂	Используются средние параметры рудных тел, выявленные на поисково-разведочной стадии и на I фазе предварительной разведки
II фаза	1. Оконтуривание рудных тел по простиранию	Выбор места заложения оконтуривающих профилей, а при необходимости промежуточных профилей и отдельных скважин
	2. Составление детальной геологической карты, продольных и поперечных разрезов	Используются данные геологической документации, скважинной геофизики и геохимии, результатов опробования
	3. Качественная характеристика руд	То же
	4. Составление геологического отчета с подсчетом запасов по категории С ₁	"
	5. Составление ТЭД и разработка временных кондиций руд	"

В главе IV приведено большое количество примеров решения указанных задач с помощью скважинных геофизических методов. Все эти примеры взяты из практики работ на стадиях как предварительной, так и детальной разведок.

В отличие от предварительной на стадии детальной разведки значительно возрастает роль подземных выработок, проходимых с целью прироста запасов по высоким категориям, для контроля данных бурения, изучения технологических свойств руды и др.

Детальная разведка подземными горными выработками, хотя и более надежна по сравнению с буровой, в свою очередь не лишена определенных недостатков, так как не позволяет установить детали строения рудных тел и их пространственное положение из-за невозможности сплошного оконтуривания рудных тел. Чрезмерное же увеличение объемов горных работ ведет к резкому удорожанию разведки и затягивает срок ее проведения. Эти недостатки можно в значительной степени устранить путем проведения геофизических исследований в горных выработках.

Например, широкие возможности открываются при детализации контуров рудных тел между основными разведочными горизонтами. В настоящее время для увязки рудных тел, установления их сплошности и колебаний углов падения между горизонтами проходят ряд восстающих и наклонных или горизонтальных скважин подземного бурения. Использование радиопросвечивания, электрической корреляции и других методов позволяет решать все эти задачи при значительно меньшем количестве выработок. В этом случае проходка восстающих будет необходима только для проветривания горных выработок и изучения распределения содержания полезных компонентов по падению. Проходка восстающих выработок технически сложна, и поэтому сокращение их общего количества существенно облегчит проведение детальной разведки.

Необходимость в применении геофизических методов может возникнуть и при увязке рудных пересечений в плоскости разведочного горизонта. В ряде случаев для уверенного оконтуривания отдельных рудных тел, пересеченных квершлагами или рассечками, приходится проходить заверочные штреки по простиранию тела. Применение тех же геофизических методов позволяет однозначно производить увязку пересечений, а в особо благоприятных случаях устанавливать контуры и строение рудных тел в межвыработочном пространстве.

Геофизические методы на рассматриваемой стадии должны использоваться и для выявления и оценки сопутствующих рудных тел.

В ряде случаев при детальной разведке возникает задача выделения и оконтуривания сплошных сульфидных руд среди вкрапленных. Эта задача может решаться достаточно успешно методом индукционной электроразведки.

Существенную роль при детальной разведке могут играть различные методы каротажа, позволяющие контролировать, а иногда и уточнять геологический разрез по стенкам скважин и широко

применять бескерновое бурение в надрудных толщах. В ряде случаев применение ядерных методов каротажа обеспечивает определение качественного состава руд.

Практических примеров использования скважинных и шахтных геофизических методов при детальной разведке (за исключением каротажа) в настоящее время очень немного.

Можно привести ряд случаев эффективного применения их при разведке редкометального месторождения в Узбекистане. На этом месторождении, относимом к третьей группе по классификации ГКЗ, работы, связанные с использованием скважинной и шахтной геофизики, проводились ВИТР совместно с трестом Ташкентгеология МГ УзССР [Гончаров и др., 1969]. Для месторождения столь сложного строения весьма важно увязать рудные пересечения между горными выработками. При решении этой задачи одновременно определяется сплошность рудных тел и их пространственное положение.

На рис. 71 приведены результаты геофизических работ между двумя горизонтами штолен. Первоначально по геологическим данным жила 1, прослеженная на горизонте штольни 1, увязывалась с жильными рудными пересечениями штольни 2. В результате геофизических работ было установлено, что штольней 2 пересечена жила 2, а не жила 1. Разрез по линии I—I иллюстрирует различие в положении этих жил (рис. 71, б). При этом положение жилы влияет как непосредственно на точность подсчета запасов, так и на последующую организацию эксплуатационных работ. Одновременно было установлено, что зона интенсивной пиритизации, встреченная штольней 2 в районе 245 м, является нижней частью залежи 1. Наличие связи жильных тел 1 и 2 с залежью 1 подтверждено проходкой штреков 1 и 2 на горизонте штольни 1.

На рис. 72 приведены результаты геофизических работ на горизонте одной из штолен. Наряду с корреляцией рудовмещающего тектонического нарушения между рассечками уточнены размеры залежи 2. По результатам геофизических исследований ее протяженность почти на одну треть больше, чем это определено по данным геологических построений.

Применение на этом месторождении геофизических методов для увязки рудных пересечений между выработками с одновременным решением вопросов о сплошности, пространственном положении рудных тел и для уточнения их размеров позволило обоснованно корректировать направление разведочных работ в процессе их проведения. Сочетание же результатов геологических и геофизических исследований повысило качество подсчета запасов.

Широкое использование в процессе детальной разведки в общем комплексе проводимых работ скважинных и шахтных методов исследований позволяет наиболее оптимально размещать разведочные выработки: максимально разрезать их на участках, характеризующихся выдержанностью форм рудных тел. При этом имеется в виду, что для большинства рассматриваемых в руководстве сульфидных месторождений изменчивость форм рудных тел больше изменчивости содержаний полезных компонентов. В ряде случаев применение геофизических методов обеспечивает перевод запасов из низших категорий в высшие без дополнительных рудных пересечений на участках простого строения рудных тел с относительно равномерным распределением в них полезных компонентов. В этом заключаются пути улучшения не только геологического качества и надежности информации при производстве детальной разведки, но и повышение ее экономической эффективности.

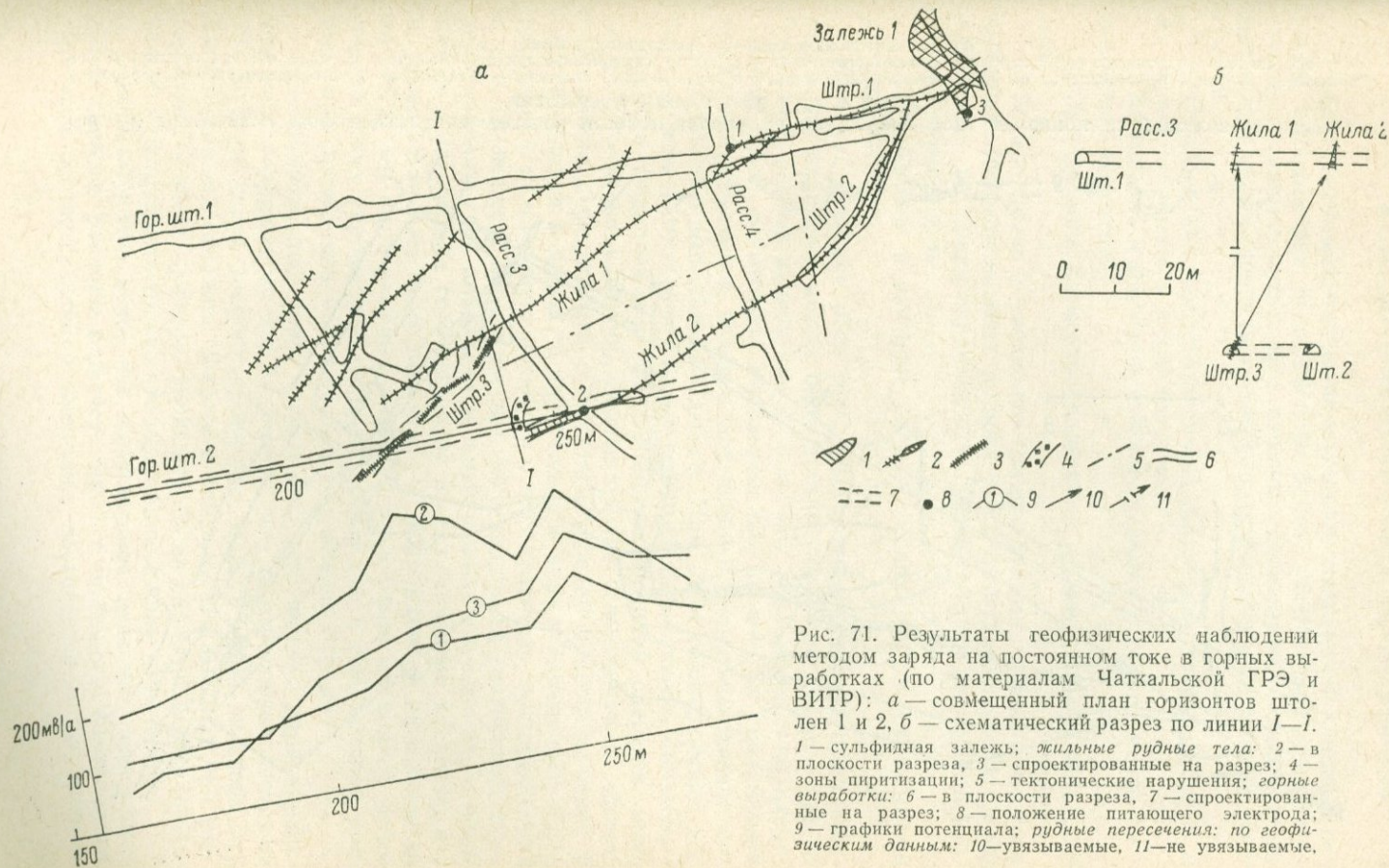


Рис. 71. Результаты геофизических наблюдений методом заряда на постоянном токе в горных выработках (по материалам Чаткальской ГРЭ и ВИТР): а — совмещенный план горизонтов штолен 1 и 2, б — схематический разрез по линии I—I.

1 — сульфидная залежь; жильные рудные тела; 2 — в плоскости разреза, 3 — спроектированные на разрез; 4 — зоны пиритизации; 5 — тектонические нарушения; горные выработки; 6 — в плоскости разреза, 7 — спроектированные на разрез; 8 — положение питающего электрода; 9 — графики потенциала; рудные пересечения; по геофизическим данным: 10 — увязываемые, 11 — не увязываемые.

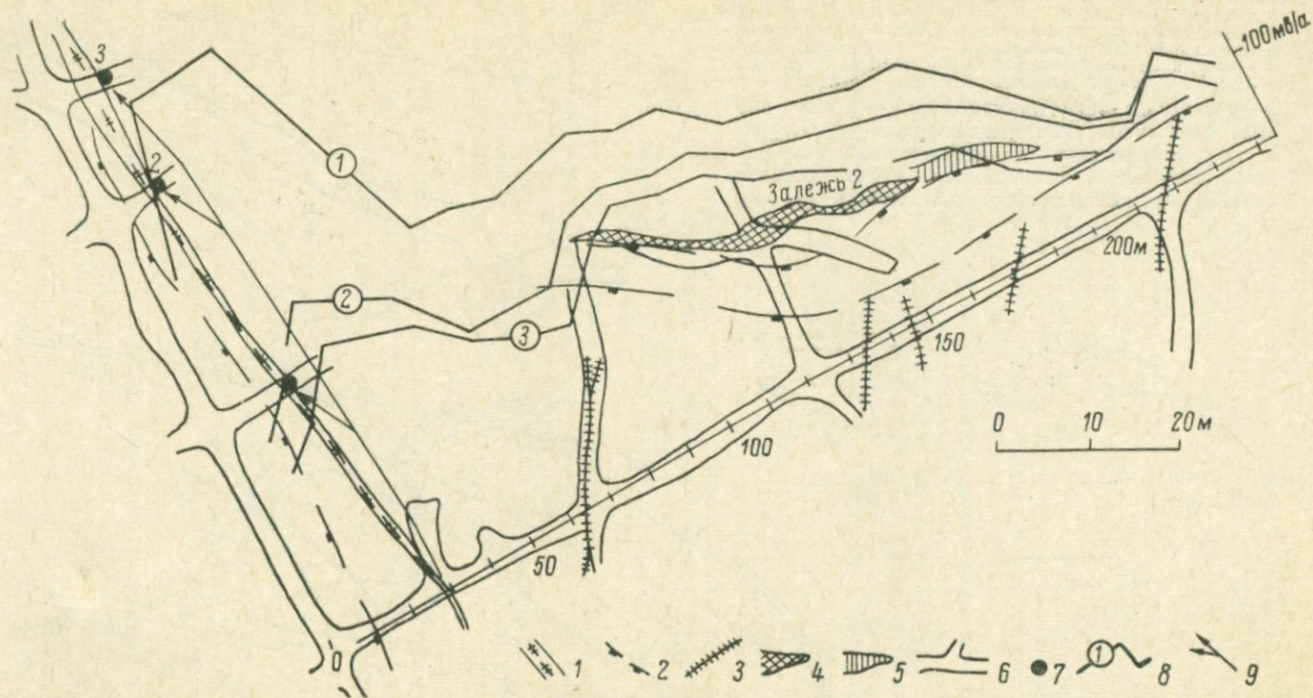


Рис. 72. Результаты геофизических наблюдений методом заряда на постоянном токе на одном из участков штольни (по материалам Чаткальской ГРЭ и ВИТР).

1 — сбросы минерализованные; 2 — надвиги; 3 — жильные рудные тела; 4 — положение рудного тела по геологическим данным; 5 — уточненное положение участка рудного тела по данным геофизических работ; 6 — подземные горные выработки; 7 — положение питающего электрода; 8 — графики потенциала; 9 — увязка (корреляция) сброса.

Приведенный в руководстве материал, основанный главным образом на примерах практических работ, убедительно свидетельствует о возможностях при помощи скважинных комплексных методов решать следующие поисково-разведочные и разведочные задачи.

1. Определение ориентировочных размеров месторождений и их общего положения в пространстве.

2. Выявление и изучение рудовмещающих структур и зон окорудных изменений.

3. Определение элементов залегания и размеров рудных залежей.

4. Установление и уточнение границ рудных залежей, мест их выклинивания, сплошности рудных тел и безрудных «окон» в них, массивных руд среди вкрапленных, связей между отдельными рудными телами и т. п.

5. Выявление и изучение слепых, пропущенных скважинами рудных залежей.

Конечно, решение всех этих задач, являющихся весьма важными для разведки, может быть достигнуто и при помощи только бурения и горных выработок, однако, как показывает уже накопленный опыт, совместное использование бурения и скважинных комплексных методов ведет к повышению геолого-экономической эффективности выполняемых работ. При этом геологическая эффективность достигается за счет обнаружения запасов, связанных с попутно выявляемыми скважинной геофизикой слепыми залежами, уточнения контуров, особенно мест выклинивания, общего обогащения информацией о деталях строения рудных залежей и месторождения в целом, в значительной мере облегчающей и упрощающей дальнейшую разведку и эксплуатацию месторождения и т. п. Повышение экономической эффективности достигается в результате того, что, производя в пробуренных скважинах необходимые комплексные геофизические и геохимические исследования и повышая за счет этого стоимость 1 м пройденной скважины на 10—15%, мы одновременно можем ограничиться проходкой более редкой сетки буровых скважин по сравнению с той, которая принята при проведении работ только с помощью бурения.

Имеющийся опыт работ показывает, что обычно первоначальная сеть разрежается в 1,5—2 раза, что соответствует экономии 33—50% от числа запроектированных или 70—85% от стоимости сэкономленных скважин. Вместе с тем, как показывают три рассмотренных выше примера, экономия числа скважин может значительно превосходить только что названную цифру (33—50%).

Таким образом, ясно, что комплексное ведение разведочных работ снижает расходы в расчете на 1 т полезного ископаемого. При этом соответствующая экономия достигается и во времени

проведения разведочных работ, что само по себе приводит к экономии средств.

В табл. 11 приведен ряд примеров экономической эффективности, полученной в процессе разведочных работ с применением скважинной геофизики на сульфидных месторождениях в различных районах Советского Союза, где с ее помощью не только решались разведочные задачи, но в отдельных случаях частично изменялась и методика разведки в направлении разрежения сети буровых скважин или подземных горных выработок.

Таблица 11

Примеры эффективности разведочных работ при использовании скважинных геофизических методов

Месторождение	Организация, выполнившая расчет	Источник экономии	Экономическая эффективность, тыс. руб.
Золото-сульфидное, Центральный Казахстан	ЦКГУ, ВИТР, 1963—1965 гг.	Уменьшение объема бурения на 3680 м (24 скважины); разрежение сети скважин с 50×100 на $50 \times (150 \div 200)$ м	50,0
Редкометальное, Узбекистан	Трест Ташкент-геология, ВИТР, 1965—1968 гг.	Разрежение сети скважин с 40×40 на 40×80 м; отпала необходимость проходки 26 горных выработок (4862 м) и 8 скважин (2480 м)	316,0
Медно-пирротинное, Рудный Алтай	ВКГУ, 1964—1965 гг.	Установление скважинными методами слепого рудного тела; прирост запасов	14,0
Колчеданно-полиметаллическое, Рудный Алтай	ВКГУ, ВИТР, 1963—1965 гг.	Уточнение морфологии и размеров рудных тел; прирост запасов	19,0
Полиметаллическое, Рудный Алтай	ВКГУ, 1964—1965 гг.	То же	8,0
То же	ВКГУ, 1965 г.	Уточнение морфологии рудных тел; разрежение сети буровых скважин в 2 раза	12,0
Полиметаллическое, Западная Сибирь	ЗСГУ, 1965—1967 гг.	Уточнение контуров и размеров рудных тел; прирост запасов; разрежение буровой сети	95,0

**Ориентировочный подсчет эффективности
предлагаемой методики предварительной разведки**

Месторождение	Затрачено скважин по методике		Экономическая эффективность, тыс. руб.
	принятой	предлагаемой	
Полиметаллическое, Рудный Алтай	22	12	90
Сульфидно-касситеритовое, Хабаровский край	142	40	900
Полиметаллическое, Рудный Алтай	199	51	1800
Всего	—	—	2790

В табл. 12 приведены данные по экономической эффективности, ожидаемые от внедрения предлагаемой в настоящем руководстве методики предварительной разведки и основанные на приведенных в § 1 данных.

Общее число примеров могло быть значительно бóльшим.

Заключение

В настоящей монографии показаны приемы и примеры решения основных разведочных задач, возникающих при геологоразведочных работах на сульфидных месторождениях плитообразной формы, при помощи буровых скважин и комплексных геолого-геофизических и геохимических исследований, проводимых в этих скважинах.

Анализ подобного рода приемов решения частных геологоразведочных задач показал, что таким путем повышается геологическая и экономическая эффективность выполняемых разведочных работ. Это выражается как в большей полноте получаемой комплексной информации о месторождении в целом, рудных телах и условиях их залегания, так и в ощутимом (в 1,5—2 раза) уменьшении расходования горнобуровых работ в расчете на 1 т разведываемого полезного ископаемого, не считая получаемого выигрыша во времени.

Подобные результаты частных решений позволили предложить для практического применения составленную нами схему предварительной разведки. Эта схема предусматривает рациональное решение общей задачи разведки при последовательном и совместном использовании буровых скважин и комплексных скважинных исследований в них с самого начала решения разведочной задачи. Подобный подход, по расчету авторов, должен привести к еще большему, чем указано выше, геолого-экономическому эффекту.

Все приведенные в монографии сведения обосновывают и иллюстрируют приемы рационализации геологической разведки глубокозалегающих рудных месторождений путем комплексного использования буровых скважин и соответствующих скважинных исследований. В этом главный интерес и значение изложенных материалов.

Литература

Ажикеев М. Х. и др. Анализ достоверности разведки некоторых месторождений цветных металлов в Казахстане и вопросы совершенствования методики разведки. Мат-лы совещ. сес. экспертно-геолог. совета. Достоверность и возможности повышения результата разведки м-ний полезн. ископ. М., ОНТИ ВИЭМС, 1965а.

Ажикеев М. Х. и др. Пути рационализации методики разведки твердых полезных ископаемых и повышения эффективности геологоразведочных работ. Алма-Ата, ОНТИиП КазИМС, 1965б.

Акимов С. М., Кирикилица С. И. Методика разведки рудных месторождений направленными скважинами. Разведка и охрана недр, № 9, 1965.

Александров А. Ю. и др. Эффект Мессбауэра и возможности его применения в ядерной геофизике. В сб. Пробл. ядерной геофизики. М., Недра, 1964.

Аранга Карлос Р. Состояние медной промышленности. Ч. II. РЖ Геология, № 5, реф. 8480, 1958.

Арцыбашев В. А. Оптимальный зонд для опробования руд по гамма-гамма-методу. Изв. вузов, Геология и разведка, № 9. Изд. МГРИ, 1964.

Бадалян С. В. Рудничный вариант метода вызванной поляризации. В сб. Методика и техника разведки, № 59. Л., ОНТИ ВИТР, 1967.

Балашев А. Н. Электрические свойства горных пород и руд Карамазара. БНТИ, темат. вып., № 60, сер. Развед. и промысл. геофизика, № 1, М., ОНТИ ВИЭМС, 1965.

Бернштейн П. С. Сравнение данных разведочного колонкового бурения с результатами горных работ на некоторых полиметаллических и медных месторождениях. Сов. геология, № 17, 1946.

Бурдуков Г. П. Опыт разведки скарнового месторождения Саяк. Тр. Всесоюз. совещ. по методике разведки полезн. ископ., 19—24. XII 1960. М., Госгеолтехиздат, 1962.

Верчеба А. О. Об экономической эффективности горных и буровых систем разведки месторождений полезных ископаемых. Изв. вузов, Геология и разведка, № 1, Изд. МГРИ, 1968.

Виллер Г. А., Мещеряков С. С. Методика изучения ореолов первичного рассеяния при поисках и разведке оловорудных месторождений. В сб. Методика и техника разведки, № 64. Л., ОНТИ ВИТР, 1969.

Воздвиженский Б. И., Конычев М. И., Лиманов Е. Л. Итоги науки. Техника геологоразведочных работ. Направленное многозабойное бурение. М., ВИНТИ, 1966.

Волков А. С., Игнатов В. И., Пинаев Н. И. Дальнейшее повышение эффективности многозабойного бурения. Информ. сообщ., сер. техника и технология геологоразвед. работ, организация производства, № 22. М., ОНТИ ВИЭМС, 1967.

Вольфштейн П. М. и др. Применение метода селективного каротажа. Разведка и охрана недр, № 8, 1962.

Воскобойников Г. М., Уткин В. И., Бурдин Ю. Б. Спектральные методы определения природы аномалий селективного каротажа. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 8, 1961.

Воскобойников Г. М. и др. К вопросу о количественных определениях содержания тяжелых металлов в руде по данным селективного каротажа. Тр. Ин-та геофиз. УФАН СССР, вып. 2, 1962.

Генбом А. Б. Достоверность разведки сплошных колчеданных руд Кировоградского района на Среднем Урале. Разведка и охрана недр, № 5, 1957.

Генбом А. Б. Достоверность буровой разведки колчеданных руд, пересеченных дайками. Разведка и охрана недр, № 6, 1963.

Гертановский А. В., Овчинников Н. Л. Выбор наиболее рационального способа разведки на примере золоторудного месторождения Урала. Разведка и охрана недр, № 7, 1967.

Гитлин Я. Л. Результаты применения методов скважинной геофизики на этапе разведки полиметаллических месторождений Рудного Алтая. Сб. мат-лов republ. геофиз. конф. Алма-Ата, Казахстан, 1965.

Гитлин Я. Л. Использование некоторых особенностей электрического поля точечных источников для оценки линейных размеров рудных тел. В сб. Методика и техника разведки, № 62. Л., ОНТИ ВИТР, 1968.

Гольдфельд А. И. Результаты анализа разведочных материалов по Березовскому месторождению и некоторые вопросы методики разведки. Алма-Ата, 1959.

Гольдфельд А. И. Методика детальной и эксплуатационной разведки полиметаллических месторождений Прииртышья. Тр. САИГИМС, вып. 5, Ташкент, 1963.

Гольдфельд А. И. Анализ и сопоставление данных разведки и эксплуатации по Зырянскому месторождению. Мат-лы совещ. сес. экспертно-геолог. совета. Достоверность и возможности повышения результатов разведки м-ний полезн. ископ. М., ОНТИ ВИЭМС, 1965.

Гончаров Г. С. и др. Комплексные исследования при поисках и разведке скрытого редкометалльного оруденения. В сб. Методика и техника разведки, № 64. Л., ОНТИ ВИТР, 1969.

Григорян С. В., Янишевский Е. М. Эндогенные геохимические ореолы рудных месторождений. М., Недра, 1968.

Дахнов В. Н. Промысловая геофизика. М., Гостоптехиздат, 1958.

Дахнов В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. М., Гостоптехиздат, 1962.

Доленко А. В., Ежазаров В. Г., Исаков Л. М. Ядерные гамма-резонансные приборы для научных исследований и прикладных задач. Сб. Приборостроение. М., Атомиздат, 1967. (Тр. СНИИП, вып. VI).

Дортман Н. Б. и др. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых СССР. М., Недра, 1964.

Евангулов Б. Б., Арский Ю. М., Лир Ю. В. Закономерности концентрации промышленных запасов в оловорудных районах, месторождениях и рудных телах. Л., Недра, 1967. (Зап. ЛГИ, т. II, вып. 2).

Желтов Ю. П. Деформация горных пород. М., Недра, 1966.

Жук И. А., Костин Ю. С. Искусственное искривление скважин с целью повышения достоверности данных колонкового бурения. В сб. Методика и техника разведки, № 48. Л., ОНТИ ВИТР, 1964.

Жуковичкий А. А., Шварцман Л. А. Физическая химия. М., Металлургия, 1968.

Зенков Д. А. О точности разведочных разрезов. Сов. геология, № 49, 1955.

Зенков Д. А. Методы определения плотности разведочной сети. Сов. геология, № 61, 1957.

Зиверт Р. Р. и др. Глубинные поиски полиметаллических и золото-сульфидных руд на основе скважинных геофизических и геохимических методов (методическое руководство). Л., Недра, 1968.

Игнатъев С. Т. О недостатках в подсчете запасов рудных месторождений. Мат-лы ГКЗ по методике разведки, промышл. оценке и подсчету запасов м-ний полезн. ископ., сб. 4. М., Недра, 1966.

Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям свинцовых и цинковых руд. М., Госгеолтехиздат, 1961.

Казаковский Д. А. Оценка точности результатов в связи с геометризацией и подсчетом запасов месторождений. Углетехиздат, 1948.

Каллистов П. Л. Изменчивость оруденения и плотность наблюдений при разведке и опробовании. Сов. геология, № 53, 1956.

Карлье М. Методика количественной оценки месторождений урана. М., Атомиздат, 1966.

Киреев В. А. Курс физической химии. М.—Л., Госхимиздат, 1951.

Кирикилица С. И. Сопоставление данных буровых скважин и горных выработок при разведке ртутных месторождений в Донбассе. Тр. САИГИМС, вып. 5, 1963.

Кобранова В. Н. Физические свойства горных пород. М., Гостоптехиздат, 1962.

Козырин А. К. Зависимость потенциала заряженного тела от его формы и размеров. М., Госгеолтехиздат, 1962. (Тр. Свердл. горн. ин-та, вып. 41).

Козырин А. К., Королюк Т. И., Сапожников В. М. Об определении параметров электропроводящей залежи по данным скважинной электроразведки. Изв. вузов, Горный журнал, № 7, 1963.

Козырин А. К., Сапожников В. М., Бабенков В. Е. Эффективность скважинной электроразведки постоянным током (на примере медноколчеданного месторождения). Изв. вузов, Геология и разведка, № 3, 1968.

Комаров В. А. Методика изучения поляризуемости образцов горных пород. Обмен опытом, вып. 56, Л., ОНТИ ВИТР, 1962.

Комаров В. А., Попов И. И. Принципы выделения локальных аномалий в обстановке сложных полей вызванной поляризации. В сб. Методика и техника разведки, вып. 59, Л., ОНТИ ВИТР, 1967.

Комаров В. А. и др. Теоретические основы интерпретации наблюдений в методе вызванной поляризации. Л., Недра, 1966.

Комаров С. Г. Каротаж по методу сопотвращения. Интерпретация. М., Гостоптехиздат, 1950.

Кошелев И. П. и др. Некоторые вопросы методики радиоактивного каротажа на месторождениях твердых полезных ископаемых. В сб. Геофиз. исслед. в Казахстане. Алма-Ата, Казахстан, 1965.

Кошелев И. П. и др. Применение комплекса радиоактивных методов исследования скважин на полиметаллических месторождениях Рудного Алтая. В сб. Вопр. рудн. геофизики в Казахстане. Алма-Ата, Казахстан, 1966.

Кошелев И. П. и др. Ядерные методы исследований при разведке и контроле эксплуатации рудных месторождений. В сб. Методика, техника и результаты геофиз. разведки. Мат.-лы V Всесоюз. науч.-техн. геофиз. конф. в г. Новосибирске. М., Недра, 1967.

Крайнов А. П., Травин Ю. А. Опыт ускоренного анализа оловянных руд и продуктов их переработки радиометрическими методами. Колыма, № 11. Магадан, 1964.

Красников В. И. Оценка месторождений в стадии предварительной разведки. Сов. геология, № 53, 1956.

Красников В. И. Рациональные поиски рудных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1959.

Крейтер В. М. Поиски и разведки полезных ископаемых. Госгеолиздат, 1941.

Крейтер В. М., Бирюков В. И. Принципы разведки месторождений полезных ископаемых. М., Тип. ХОЗУ МГ и ОН СССР, 1957.

Кричевский И. Р. Понятия и основы термодинамики. Госхимиздат, 1963.

Купер Ж. Р., Хафф Л. С. Геологические исследования и опыт геохимической разведки в Джонсоне, Аризона. В сб. Геохимические методы поисков рудных месторождений. ИЛ, 1954.

Лебедкин Л. В., Вострецов Р. Н. Скважинное дипольное электромагнитное профилирование. В сб. Геофизическая аппаратура, вып. 33, Л., Недра, 1967.

Лебедкин Л. В., Вострецов Р. Н. Опыт применения дипольного электромагнитного профилирования в скважинах малой глубины. В сб. Методика и техника разведки, № 64, Л., ОНТИ ВИТР, 1969.

Лобанов Д. А. О роли горных и буровых работ при поисках и разведке штокверковых месторождений. Изв. вузов, Горный журнал, № 4. Изд. МГРИ, 1969.

Лобанов Е. М. и др. Определение содержания меди в разрезах скважин с помощью активационного каротажа. В сб. Радиационные эффекты в конденсированных средах. М., Изд. ОНТИ ВИРГ, 1964.

Ложечкин М. П. Основные недостатки работ по разведке и определению запасов месторождений полезных ископаемых. Сов. геология, № 49, 1955.

Маркушин Я. В., Нахтигаль Г. П., Ткаченко Г. Г. О характере региональных полей вызванной поляризации в Восточном Казахстане. В сб. Методика и техника разведки, № 59. Л., ОНТИ ВИТР, 1967.

Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М., Мир, 1969.

Мейер В. А. Каротаж скважин при разведке полиметаллических месторождений. Л., Изд. ЛГУ, 1960.

Методические указания по проведению отдельных этапов геологоразведочных работ. Твердые полезные ископаемые. Госгеолтехиздат, 1961.

Мещеряков С. С., Соловьев В. Г. Общие принципы перспективной оценки рудопроявлений. В сб. Методика и техника разведки, № 64. Л., ОНТИ ВИТР, 1969.

Моррис Х. Т., Ловеринг Т. С. Гипергенное и гидротермальное рассеяние тяжелых металлов в боковых породах близ рудных тел в районе Тинтик, Юта. В сб. Геохим. методы поисков руд. м-ний. М., ИЛ, 1964.

Мурсалимов Х. И., Орлов А. И., Хаматов И. С. Некоторые вопросы методики разведки золоторудных месторождений Казахстана. В сб. Матлы по методике разведки и оценке м-ний тверд. полезн. ископ. Алма-Ата, Изд. КазИМС, 1967.

Мурсалимов Х. И. и др. О некоторых резервах повышения эффективности геологоразведочных работ. Разведка и охрана недр, № 11, 1967.

Недожогин М. С. Сравнение запасов руды и меди Гайского месторождения по данным разведки и эксплуатации. Тр. САИГИМС, вып. 5, 1963.

Нечелюстов Н. В. Вопросы рациональной методики разведки месторождений цветных и редких металлов. Тр. Всесоюз. совещ. по методике разведки полезн. ископ. 19—24. XII 1960 г. М., Госгеолтехиздат, 1962.

Никулин Н. Н., Бакулин Ю. И. Бор — возможный геохимический индикатор при перспективной оценке оловорудных месторождений. В сб. Методика и техника разведки, № 64. Л., ОНТИ ВИТР, 1969.

Очкур А. П. Ядерно-геофизические методы. В сб. Методы рудной геофизики. Л., ОНТИ ВИРГ, 1968.

Пархоменко Э. И. Электрические свойства горных пород. М., Наука, 1965.

Петровский А. Д. Методика и техника исследований по радиоволновому просвечиванию и основные результаты работ на примерах некоторых месторождений. Уч. зап. САИГИМС, вып. 8, Ташкент, 1962.

Погребницкий Е. О. и др. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Недра, 1968.

Пожарицкий К. Л. Пути увеличения эффективности геологоразведочных работ и борьба с излишеством в них. Сов. геология, № 1, 1958.

Пожарицкий К. Л. О подсчете и практическом значении перспективных запасов категории С₂ рудных месторождений. Сов. геология, № 5, 1962.

Попов А. А., Силин Н. П., Фриш В. Ф. Методическое руководство по скважинному радиоволновому просвечиванию. Л., ОНТИ ВИТР, 1965.

Прокофьев А. П. Требования ГКЗ к оценке качества минерального сырья. Разведка и охрана недр, № 2, 1968.

Русецкая Г. Г. О рациональном соотношении горных и буровых работ при разведке жильных месторождений. Тр. САИГИМС, вып. 5, Ташкент, 1963.

Рысс Ю. С. Контактный способ поляризационных кривых для характеристики минерального состава и размеров рудных тел. В сб. Методика и техника разведки, № 65. Л., ОНТИ ВИТР, 1969.

Рысс Ю. С., Овчинникова Т. М. Потенциалы электрохимических реакций на рудных минералах. В сб. Методика и техника разведки, № 65. Л., ОНТИ ВИТР, 1969.

Рысс Ю. С., Тясто А. С. Сквaziнный вариант метода естественного электрического поля. Обмен опытом, вып. 33. Л., ОНТИ ВИТР, 1960.

Рысс Ю. С., Тясто А. С. Структура естественных электрических полей на рудных месторождениях и ее использование при поисках и разведке полезных ископаемых. Региональная, разведочная и промысловая геофизика, вып. 2. М., ОНТИ ВИЭМС, 1966.

Рысс Ю. С., Шатров Б. Б. Применение сквaziнной электроразведки постоянным током при поисках и разведке рудных месторождений. Обмен опытом, вып. 82. Л., ОНТИ ВИТР, 1966.

Саковцев Г. П., Редозубов А. А. Методы сквaziнной электроразведки при поисках и разведке рудных месторождений. М., Недра, 1968.

Сапожников В. М. К методике определения параметров электропроводящей залежи по данным сквaziнной электроразведки. Госгеолтехиздат, 1966. (Тр. Свердл. горн. ин-та, вып. 47).

Сафронов Н. И. Основные термодинамические закономерности при изучении энергии рудообразования. Зап. ЛГИ, т. I вып. 2, 1966.

Сафронов Н. И. Основы геохимических методов поисков рудных месторождений. Л., ОНТИ ВИТР, 1967.

Сафронов Н. И., Сафронов Д. Н. О вероятных закономерностях распределения запасов металла в земной коре. В сб. Методика и техника разведки, № 44. Л., ОНТИ ВИТР, 1964.

Свешников Г. Б. Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях. Л., изд. ЛГУ, 1967.

Семенов А. С. Метод заряженного тела при разведке и поисках сульфидных месторождений. Мат-лы ВСЕГЕИ, Геофизика, сб. 11. Л., 1947.

Семенов А. С. Теория метода заряженного тела в применении к эквипотенциальным проводникам. Мат-лы ВСЕГЕИ, Геофизика, сб. 13. Л., 1948.

Семенов А. С. Экспериментальные исследования по определению размеров и элементов залегания пластовых тел методом заряда. Вопр. развед. геофизики, вып. 1. Л., Гостоптехиздат, 1962.

Семенов М. В. Сквaziнный вариант метода вызванной поляризации. Обмен опытом, вып. 48. Л., ОНТИ ВИТР, 1961.

Семенов М. В. Метод вызванной поляризации при поисках рудных полей Алтая, закрытых наносами. Геология и геофизика, № 5. Изд. СО АН СССР, 1965.

Семенов М. В., Синдяев Ю. В. Применение метода вызванной поляризации при поисках и оценке зон сульфидной минерализации, закрытых наносами. Тр. СНИИГГИМС, вып. 53, Новосибирск, 1967.

Смирнов В. И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. М., Изд. МГУ, 1957.

Смирнов В. И. О плотности разведочной сети. Сов. геология, № 58, 1958.

Смирнов В. И. О выборе плотности разведочной сети. Тр. Всесоюз. совещ. по методике разведки полезн. ископ., 19—24 XII 1960 г., М., Госгеолтехиздат, 1962.

Соколов М. М. и др. К интерпретации диаграмм селективного каротажа. В сб. Вопр. развед. радиометрии, инф. сб., № 1, Л., ОНТИ ВИТР, 1959.

Соловов А. П., Гаранин А. В. Геохимические спектры аномалий и дискриминантный анализ. В сб. Литохим. поиски рудн. м-ний по их гипергенным ореолам и потокам рассеяния. Мат-лы I тематич. сес. Межвед. Совета по пробл. Науч. основы геохим. методов м-ний полезн. ископ., Алма-Ата, Казахстан, 1968.

Соловьев В. Г. Кустовой метод разведки месторождений полезных ископаемых многозаконными сквaziнами. В сб. Методика и техника разведки, № 57, Л., ОНТИ ВИТР, 1967.

Справочник геофизика. Т. II. М., Гостоптехиздат, 1961.

Справочник геофизика. Т. III. М., Гостоптехиздат, 1963.

Храмышкин П. В., Лемец В. И., Жакупов Б. Е. Применение метода вызванной поляризации на одном из полиметаллических месторождений Центрального Казахстана. В сб. Применение метода вызванной поляризации при поисках рудн. м-ний. М., Недра, 1964.

Хрущев Н. А. Основные пути повышения экономической эффективности и достоверности геологоразведочных работ. Разведка и охрана недр, № 7, 1964.

Хлопонина Л. С. Анализ аномалий вызванной поляризации, создаваемых сфероидальными телами в условиях скважинных измерений. В сб. Методика и техника разведки, № 59. Л., ОНТИ ВИТР, 1967.

Шаповалов О. М. Применение метода вызванной поляризации на поисковом участке в Челябинской области. В сб. Применение метода вызванной поляризации при поисках руд. м-ний. М., Недра, 1964.

Шатров Б. Б., Волюхин А. М. Применение радиопросвечивания при исследовании структуры межскважинных блоков. В сб. Методика и техника разведки, № 55. Л., ОНТИ ВИТР, 1966.

Шехтман П. А. Применение в методике разведки принципа относительной точности. Тр. САИГИМС, вып. 3. Ташкент, 1963.

Оглавление

	Стр.
Введение (<i>Р. Р. Зиверт, Б. Б. Лихарев</i>)	3
Глава I. Задачи разведочных работ и методы их решения в настоящее время (<i>Б. Б. Лихарев</i>)	7
Глава II. Условия применения скважинных геофизических методов при разведке сульфидных месторождений (<i>М. В. Семенов, Р. Р. Зиверт, Б. Б. Шатров, А. С. Тясто</i>)	14
§ 1. Физические свойства сульфидных руд и вмещающих пород	—
§ 2. Скважинные геофизические методы и их применение на сульфидных месторождениях	21
§ 3. Влияние морфологических особенностей сульфидных рудных тел на эффективность применения скважинных геофизических методов	23
§ 4. Основные технические условия применения скважинных геофизических методов	29
Глава III. Решение задач поисково-разведочной стадии (<i>С. С. Мещераков, М. В. Семенов, Г. С. Гончаров, А. С. Тясто, Ю. С. Рысс</i>)	32
§ 1. Оценка потенциальной рудоносности перспективных площадей	—
§ 2. Ориентировочная оценка масштабов (размеров) месторождения	35
§ 3. Оценка метального состава месторождения	48
Глава IV. Использование скважинных геофизических и геохимических методов и многозабойного бурения для решения отдельных разведочных задач (<i>Б. Б. Шатров, Р. Р. Зиверт, Т. Г. Рыбакова, Г. С. Гончаров, М. В. Семенов, М. А. Черфас, С. С. Мещераков, Л. В. Лебедин</i>)	51
§ 1. Выявление рудоконтролирующих факторов	—
§ 2. Определение пространственного положения (элементов залегающих), размеров, формы и деталей строения рудных тел	67
§ 3. Выявление в околоскважинном пространстве слепых рудных тел	104
§ 4. Построение разведочных разрезов с помощью скважинных геофизических методов	115
Глава V. Рекомендуемая методика разведки с использованием скважинных геофизических и геохимических методов (<i>Б. Б. Лихарев, М. В. Семенов, Р. Р. Зиверт, Г. С. Гончаров</i>)	129
§ 1. Методика предварительной разведки	131
§ 2. Методика детальной разведки	147
§ 3. Геолого-экономическая эффективность	153
Заключение (<i>Н. И. Сафронов</i>)	156
Литература	157

*Разведка сульфидных месторождений
с использованием скважинных геофизических
и геохимических методов
(методическое руководство)*

Ведущий редактор *В. И. Невельштейн*
Технический редактор *А. Б. Ящуржинская*
Корректор *Н. А. Соколова*

М-26675. Сдано в набор 1/VII 1971 г. Подписано к печати 13/XII 1971 г.
Формат бумаги 60×90¹/₁₆. Печ. л. 10,25. Уч.-изд. л. 12,00. Изд. № 693.
Тираж 2000. Заказ № 774. Индекс 3-3-1-Л. Цена 1 р. 44 к.

Издательство «Недра». Ленинградское отделение. 193171, Ленинград, С-171,
ул. Фарфоровская, 12.
Ленинградская картфабрика ВАГТ

гр. 44 к.

1330

И Д Р А