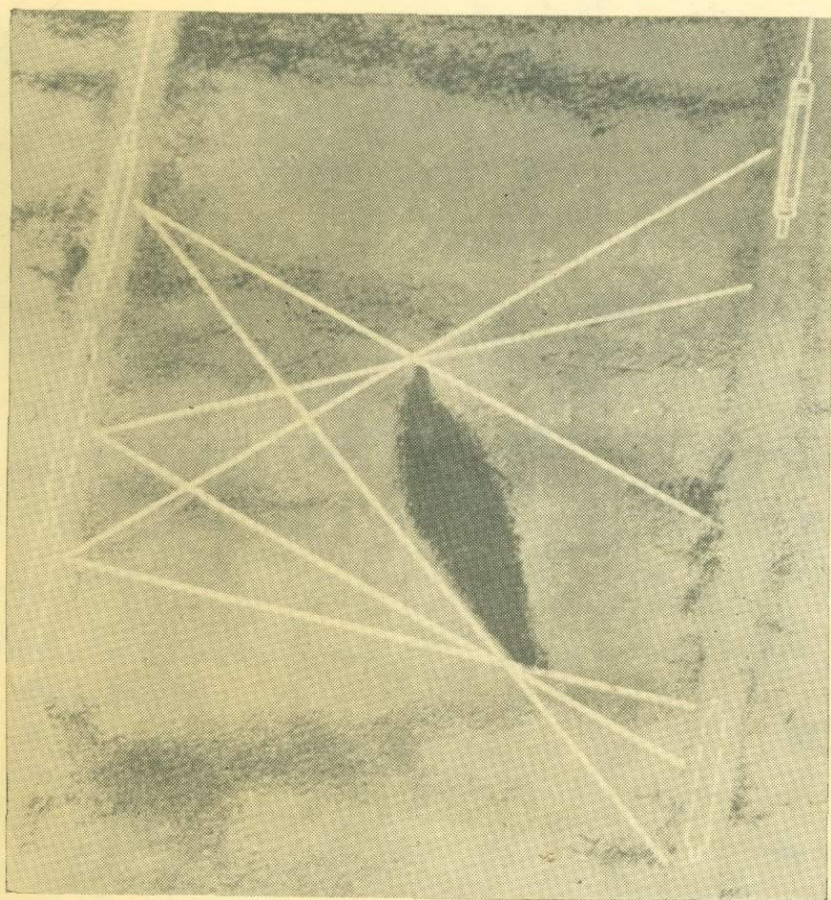


ПОДЗЕМНАЯ ГЕОФИЗИКА  
ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ  
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ





ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ

ԱՇԽԱՏԱՆՔԱՅԻՆ ԿԱՐՄԻՐ ԴՐՈՇԻ ՇՔԱՆՇԱՆԱԿԻՐ ԳԵՈՅԻԶԻԿԱՅԻ ԵՎ  
ԻՆԺԵՆԵՐԱՅԻՆ ՍԵՅՄՄՈՒՈԳԻԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

ՍՏՈՐԳԵՏՆՅԱ ԳԵՈՅԻԶԻԿԱՆ  
ՀԱՆՔԱՅԻՆ ՀՈՒՄՔԻ ՈՐՈՆՄԱՆ  
ԵՎ ՀԵՏԱԽՈՒԶՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԱ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ  
ԵՐԵՎԱՆ 1983

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ И ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ

ПОДЗЕМНАЯ ГЕОФИЗИКА  
ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ  
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АРМЯНСКОЙ ССР  
ЕРЕВАН



Печатается по решению ученого совета Ордена Трудового Красного Знамени Института геофизики и инженерной сейсмологии АН Армянской ССР

Ответственный редактор доктор физико-математических наук **А. Г. Тархов**

Книгу рекомендовали к печати рецензенты: доктор геолого-минералогических наук *Г. О. Пиджян*, кандидат геолого-минералогических наук *Ш. С. Оганисян*

**П442 Подземная геофизика при поисках и разведке минерального сырья / Отв. ред. А. Г. Тархов.—Ер.: Изд-во АН АрмССР, 1983.—196 с., ил.**

В книге рассматриваются современное состояние и перспективы развития геофизических методов исследований горных выработок и скважин, а также основные вопросы, решаемые при поисках и разведке глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых. Основное внимание уделено разработке и совершенствованию подземной геофизики и ее комплексированию с другими средствами геологоразведки. Приводятся также результаты работ, проведенных в различных районах Советского Союза.

Книга предназначена для геофизиков, геологов и студентов геологических специальностей.

П 1904050000 94—82  
703(02)—83

ББК 26.325  
553

© Издательство АН Армянской ССР. 1983.

## ОТ ИНСТИТУТА

Одной из важнейших задач, поставленных перед геологической службой нашей страны, являются поиски и разведка минерального сырья в районах действующих горнорудных предприятий. Значительную роль при этом должны играть методы подземной геофизики, получившие за последнее время определенное развитие. В настоящее время подземная геофизика во многих рудных районах Советского Союза занимает прочное положение в разведочном комплексе. Она обеспечивает большую глубину исследований, что является важнейшим фактором увеличения запасов полезных ископаемых. Вместе с этим геофизические исследования, проведенные на различных глубинах рудных месторождений, расширяют знания о поведении физических полей, физико-геологических и физико-химических явлениях, связанных с особенностями рудных месторождений. В этом смысле подземную геофизику можно оценить как новый этап развития разведочной геофизики.

Основной целью монографии явились оценка возможностей методов подземной геофизики для решения широкого круга разведочных и эксплуатационных задач на глубоких горизонтах разведываемых и эксплуатируемых месторождений и определение основных направлений дальнейшего развития этих методов.

Методы подземной геофизики нашли применение при поисках и разведке рудных тел на железорудных, хромитовых, полиметаллических, медноколчеданных, оловорудных и золоторудных месторождениях, при разведке угольных, нефтяных, газовых месторождений, а также при решении различных инженерно-геологических, горно-технических и эксплуатационных задач на действующих горнорудных предприятиях.

Использование этих методов на многих рудных месторождениях нашей страны и за рубежом позволило выявить неизвестные рудные скопления, уточнить элементы залегания известных рудных тел и геологическое строение участка работ и тем самым сократить объемы горных и буровых работ и повысить эффективность геологоразведочных исследований.

Однако в деле широкого внедрения методов подземной геофизики имеет место ряд недостатков, нерешенных аппаратурных, методических и организационных проблем, снижающих эффективность подземной геофизики.

Прежде всего к ним следует отнести недостаточную эффективность применяемых методов в производстве поисков и разведки глубокозалегających рудных тел, что связано с отсутствием единой инструкции (руководства) проведенных подземных геофизических работ. Отсутствует также единая методика учета искажающих факторов: горных выработок, металлического оборудования, электрических, магнитных и других помех, несмотря на то, что эти помехи и их влия-

ние на распределение геофизических полей изучены отдельными специалистами.

Аппаратурная база методов подземной геофизики обеспечена пока не полностью. Разработка и конструирование аппаратуры ведутся в течение длительного периода. Не выпускается комплексное оборудование для подземных геофизических работ (тележки, штанги, лебедки, фалы, толкатели и др.). Основной причиной, затрудняющей правильное конструирование аппаратуры, является отсутствие единых правил методики подземных геофизических работ.

Темпы и объемы теоретических и методических исследований по подземной геофизике отстают от потребностей геофизического производства, вследствие чего остаются недоработанными вопросы оптимального комплексирования методов при работах на различных типах месторождений, методика интерпретации данных некоторых методов; недостаточно разрабатываются и новые эффективные методы геофизической разведки. Не полностью используются возможности вероятностно-статистических и информационно-статистических методов обработки и интерпретации данных подземной геофизики (в особенности комплексной интерпретации).

В разработке методов подземной геофизики весомый вклад имеет крупный ученый, ныне покойный профессор Анатолий Георгиевич Тархов. А. Г. Тархов широко известен работами в области разработки шахтного варианта радиоволнового просвечивания. Весьма интересен разработанный им метод подземной регистрации космического излучения. Велики его заслуги в разработке методов подземной терморазведки и подземной магниторазведки. С 1946 г. до конца своей жизни А. Г. Тархов проявлял постоянный интерес к геофизическим исследованиям в Армении. Под его руководством подземная геофизика получила широкое развитие в нашей республике. Доказательством этому служит первое Всесоюзное совещание по подземной геофизике, состоявшееся в Институте геофизики и инженерной сейсмологии АН Арм. ССР (г. Ленинакан) в 1975 г.

Настоящая монография является первым специализированным сборником статей по подземной геофизике. Она охватывает результаты теоретических, лабораторных и полевых исследований, проведенных в нашей стране за 1970—1975 гг. В целом монография содержит многосторонний материал по разработке, усовершенствованию и внедрению в производство всех перспективных методов подземной геофизики. Она является уникальным трудом, выполненным на современном уровне развития науки и техники.

Публикация данной монографии может ускорить развитие подземной геофизики в нашей стране, применение которой будет способствовать поискам и разведке глубокозалегающих рудных месторождений и, тем самым, увеличит прирост запасов полезных ископаемых.

# І. ВОПРОСЫ ОБЩЕГО ХАРАКТЕРА

А. Г. ТАРХОВ

(МГРИ Минвуза РСФСР)

## К СОВРЕМЕННОМУ СОСТОЯНИЮ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОФИЗИКИ

В общем геологоразведочном комплексе уже сравнительно давно заняла прочное положение подземная геофизика, отличающаяся тем, что при проведении исследований источник поля или приемник (датчик) или тот и другой помещаются под землей, в горных выработках и буровых скважинах.

Этим достигается приближение к искомым геологическим объектам и одновременно снижение уровня помех приповерхностного происхождения, связанных с рельефом, видимым и погребенным, неоднородностями в рыхлых отложениях (четвертичные и кора выветривания), непостоянством метеорологических условий и др. Как следствие значительно увеличивается глубинность исследований, что сейчас является неотложной задачей разведочной геофизики.

В отличие от обычного каротажа, подземная геофизика преследует цель обследования не только пород, уже вскрытых скважиной, но и залегающих в окрестностях ее, нередко удаленных на десятки, а иногда и на сотни метров. То же относится и к горным выработкам. Тем самым поисково-разведочный радиус действия этих скважин и выработок неизмеримо увеличивается при относительно ничтожных дополнительных затратах. Другими словами, резко возрастает эффективность геологоразведочных работ.

Родиной подземной геофизики является СССР. Еще в начале двадцатых годов текущего столетия ученик изобретателя радио А. С. Попова, основоположник советской электроразведки профессор А. А. Петровский заложил основы метода радиоволнового просвечивания (РВП) и успешно провел его опробование на серно-колчеданном (Чирагидзор, Азербайджан) и соляном (Илецкая защита) месторождениях. Однако только на основе последующих достижений радиотехники и геофизики уже после Великой Отечественной войны удалось развернуть широкий фронт работ по созданию современной аппаратуры и теории этого метода. Сначала в ВИРГе, а затем в МГРИ, ВИТРе, ЦНИГРИ, ИГИСе и в ряде других научно-исследовательских, учебных и производственных организациях были созданы инициативные группы, которые многое сделали как в развитии метода РВП, так и во внедрении его в практику геологоразведочных и горно-эксплуатационных работ. Одновременно возникали все новые и новые модификации подземной геофизики, что повлекло за собой значительное расширение ее возможностей.

На двух последних Всесоюзных геофизических конференциях (1972 г.—во Львове, 1976 г.—в Тюмени) успешно функционировали

секции подземной геофизики, а в 1975 г. было проведено специальное совещание по этой проблеме в г. Ленинкане. Кроме того, достаточно представительные совещания по подземной геофизике время от времени имеют место в ряде министерств и ведомств.

На международном геологическом конгрессе в Дели (Индия, декабрь 1964 г.) впервые были доложены основные результаты, полученные по этой проблеме в СССР. Советскими геофизиками прочитано большое число лекций и докладов и опубликовано много статей не только в СССР, но и в ряде других стран: НРБ, ВНР, ЧССР, ГДР, Гвинея, Индия, США. В некоторых из них сейчас начаты в этом направлении научно-производственные работы. Однако следует заметить, что объем последних еще крайне невелик. Даже в таких странах, как США и Канада, в которых геофизика стоит на очень высоком уровне, имеют место лишь разрозненные попытки опробования под землей отдельных методов, особенно гравиразведки. Вопрос об использовании там широкого комплекса пока даже не поставлен.

Практически все методы разведочной геофизики могут быть использованы и в подземном варианте. Необходимо только преодоление некоторых специфических трудностей, осложняющих как проведение наблюдений, так и интерпретацию получаемых данных,—влияния самих выработок и скважин, а также находящегося в них металлического оборудования: рельсов, троллеев труб и др. Значительные искажения в данные электроразведки и магниторазведки вносят сторонние поля, возникающие за счет электрооткатки и действующих установок. Имеющие место интенсивные микросейсмы в районе горнодобывающих предприятий осложняют применение подземной сейсморазведки и др. В целях борьбы с этими помехами применяют как пассивные меры, например, введение поправок за влияние стенок выработки на данные гравиразведки при измерении градиентов силы тяжести, так и активные: заземление троллея при работах методом РВП, наблюдения со спаренными датчиками (электроразведка, магниторазведка), группирование сейсмоприемников и т. д.

Заметим, что в некоторых случаях временный демонтаж находящегося в выработках оборудования, являющегося источником помех при геофизических съемках, несмотря на дополнительные затраты средств и времени, благодаря получению ценной информации экономически может быть оправдан.

Кроме того, статистическая обработка данных (способы обратных вероятностей, корреляции, фильтрации) часто позволяет в общем случае выделить полезный сигнал даже в условиях относительно высокого уровня помех.

Что касается аппаратуры, то она принципиально не отличается от обычной, полевой и скважинной; обязательные ее качества: портативность, транспортабельность, пылевлагозащищенность и некоторые другие, определяемые спецификой каждого метода. Нередко и стандартная аппаратура после минимальных переделок может быть использована для работы под землей.

Наиболее широко сейчас используются методы электроразведки естественного электрического поля (ЕП), вызванной поляризации (ВП), сопротивлений, РВП, сверхдлинноволнового варианта метода радиокип, СДВ, СДВР и заряда. Относительно последнего необходимо указать, что он может применяться не только при разведке, например, для промышленной оценки естественного или искусственного (в скважине, выработке) обнажения руды, но и в поисковых целях, для обследования окрестностей «пустых» скважин и выработок. Также заметим, что подземные наблюдения, наряду с увеличением отношения

сигнал/помеха одновременно позволяют получить дополнительную информацию о природе выявленных аномалий. Так, по характеру изменения ЕП с глубиной можно разделять аномалии геологического и фильтрационного происхождения; аналогично, в методе сопротивления разделяются аномалии приповерхностные, вызванные неоднородностями в рыхлых отложениях и глубинные, от искоемых геологических объектов и т. д.

Все большее значение приобретают подземные варианты гравиразведки с измерением как  $\Delta g$ , так и градиентов  $\frac{\partial g}{\partial x}$ ,  $\frac{\partial g}{\partial y}$ , трехкомпонентной магниторазведки, сейсморазведки. Относительно последней нужно заметить, что наряду с обычными полевыми методиками отраженных и преломленных волн под землей могут найти применение новые модификации, основанные на дифференциации горных пород по поглощению ими упругих колебаний. Так, уже известны сейсмические аналоги электроразведочных методов РВП и заряда. С помощью их можно выделять, например, рудные тела по аномально большому или, наоборот, малому затуханию упругих волн.

Особое положение занимает терморазведка. В начале становления разведочной геофизики как отрасли науки и техники (двадцатые—тридцатые годы текущего столетия) она считалась одним из основных методов, а затем по ряду причин пришла в упадок и до недавнего времени применялась в весьма ограниченных объемах при решении лишь некоторых специальных, нефтепромышленных и гидрогеологических задач. Сейчас доказана ее перспективность в решении многих задач структурной геологии (не говоря уже об изучении глубинного строения и истории развития земли как планеты), при поисках и разведке месторождений полезных ископаемых, в горном деле, технике. Разработаны совершенные методики измерения как температуры, так и теплового потока в горных породах из скважин. Кстати отметим, что глубина последних может быть ограничена всего 1—3 м, что сильно повышает экономичность и производительность работ, например, при поисках гидротермальных источников энергии. Кстати, в США для этих целей используют скважины глубиной до 40—60 м.

Некоторое применение находят и съемки в инфракрасном диапазоне спектра электромагнитных волн.

Еще более специфичным является метод подземной регистрации космического излучения (ПРКИ). В нем используется жесткая (мюонная) компонента космических лучей, обладающая довольно значительной проникающей способностью. По интенсивности потока мюонов, наблюдаемого под землей, в скважинах и горных выработках, можно как судить о средней плотности пород, залегающих выше точки наблюдения, что необходимо для уточнения интерпретации данных гравиразведки, так и выявлять геологические объекты повышенной или, наоборот, пониженной плотности.

Попутно укажем, что другие методы ядерной геофизики (включая и радиометрию) в силу их крайнего близкодействия находят применение только в целях опробования (например, каротаж естественной и вызванной радиоактивности и др.). В последние годы приобретает все большую значимость метод, занимающий промежуточное положение между сейсморазведкой и электроразведкой, основанный на изучении пьезоэлектрического эффекта, особенно заметного у кварцосодержащих пород. Значительными перспективами обладает также способ искусственного подмагничивания в магниторазведке. Пока еще

не ясен вопрос о целесообразности подземных магнито-теллурических наблюдений.

Весьма важно подчеркнуть, что в настоящее время оформилась так называемая «трехмерная» геофизика; съемки различными методами проводятся на дневной поверхности (полевые, морские), в верхнем полупространстве (воздушные, спутниковые) и под землей. Такое объемное комплексирование данных, полученных на разных уровнях, значительно расширяет возможности разведочной геофизики. В этой связи достаточно вспомнить хотя бы вертикальные градиенты различных полей при истолковании геофизических аномалий или открывающуюся возможность экспериментальной проверки результатов пересчета наблюдаемого поля вверх и вниз.

Основная область применения подземной геофизики сейчас — поиски и разведка месторождений руд цветных и черных металлов, каменного угля и некоторых других полезных ископаемых, вплоть до пьезооптического сырья и золотосодержащих кварцевых жил. Большой практический интерес представляет обслуживание действующих горнодобывающих предприятий: заблаговременное обнаружение опасных водообильных зон, управление кровлей, решение задач геотехнологии и т. д.

В инженерной геологии геофизика, в том числе и подземная, применяется главным образом при исследовании оснований под сооружения, например при выявлении карста, оползней, определении физико-механических свойств пород. Особенно важно это при строительстве таких уникальных сооружений, как ускорители элементарных частиц или радиотелескопы, в которых устойчивость применяемых устройств имеет решающее значение. Нередко выдвигаются и задачи, весьма далекие от геологии и горного дела. Так, например, метод ПРКИ был успешно опробован при оценке надежности биологической защиты от радиации на Серпуховском синхрофазотроне и даже в целях археологии, а именно для обнаружения потайной погребальной камеры внутри одной из египетских пирамид.

Широкое внедрение подземной геофизики, конечно, требует подготовки соответствующих кадров. Укажем, что в некоторых вузах, например, в МГРИ, уже в течение нескольких лет читается курс подземной геофизики. Выпущено несколько специальных монографий, подготавливаются к изданию учебное пособие и учебник по этому курсу. На очереди стоит создание отдельной специализации в рамках специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». В этой специализации особенно нуждаются предприятия Министерства черной, цветной металлургии, угольной промышленности и геологии.

Дальнейшее развитие подземной геофизики должно проходить как путем совершенствования уже существующих методов, так и создания новых. Примером могут служить недавно предложенные способы частичного извлечения металлов и регистрации поляризационных кривых, которые, по-видимому, особенно эффективными окажутся именно в подземном варианте. Одновременно следует непрерывно увеличивать объемы работ и всемерно расширять область применения подземной геофизики в геологии, разведке, горном деле, технике.

Одним из путей совершенствования подземной геофизики, на наш взгляд, является повышение помехоустойчивости применяемых методов. Следовательно, требуется подробное изучение искажения геофизических полей подземными горными выработками и скважинами, шахтным металлическим оборудованием, обсадными трубами, блуждающими токами и др. Результатом этих исследований должна слу-

жить разработка методики учета влияния перечисленных факторов на характер распределения и интенсивность геофизических полей и изучаемых параметров. В деле развития подземной геофизики особое место занимает также использование электрических помех (блуждающих токов) с целью разведки.

Одной из важнейших задач является создание единых поисково-разведочных комплексов, в которых сеть скважин и горных выработок выбиралась бы с учетом возможностей подземной геофизики; применение последней для их обследования должно стать обязательным.

Для скорейшего решения относящихся сюда вопросов и проблемы в целом необходима тесная координация работ, проводимых различными организациями как в СССР, так и в других странах социалистического лагеря. По-видимому, это лучше всего реализовать в рамках СЭВ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тархов А. Г., Бондаренко В. М., Коваленко Б. Ф. и др. Подземная геофизика. М., «Недра», 1973.

И. Г. МАГАКЬЯН

(Отделение Науки о Земле АН АрмССР)

## РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АРМЯНСКОЙ ССР И РОЛЬ ГЕОФИЗИКИ В ИХ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ

Многолетними работами коллективов геологов Института геологических наук АН АрмССР, УГ Министерства геологии СССР, геологического факультета Ереванского государственного университета и других геологических организаций на территории Армянской ССР выявлено и изучено большое разнообразие рудных формаций, из которых многие приобрели промышленное значение.

По богатству и многообразию рудных месторождений и большому сходству типов оруденения с уральскими не случайно территорию Армении называют часто «маленьким Уралом».

В деле поисков и разведки рудных месторождений республики заметную лепту внесли геофизики рудного отдела ИГИС АН АрмССР, геофизической экспедиции УГ и геологического факультета Ереванского государственного университета. В связи с тем, что выбор оптимальных методов геофизических исследований во многом зависит от типов месторождений и состава руд, ниже кратко опишем главные рудные формации территории республики, а затем те методы, которые применялись геофизиками при их поисках и разведке.

Для оруденения Армянской ССР главными металлами, имеющими большое экономическое значение, являются медь, молибден, железо, благородные металлы; второстепенное значение имеют хром, марганец, титан, свинец и цинк, сурьма, мышьяк и ртуть.

Среди крупных месторождениями рудных формаций следует прежде всего назвать колчеданную (медную и частично полиметаллическую) и прожилково-вкрапленную медно-молибденовую; представителями колчеданной формации являются хорошо и давно известные месторождения Алаверди, Шамлуг, Ахтала, Кафан, Анкадзор и другие с массивными штоками, жилами, штокверками пирит-халькопиритовых, иногда полиметаллических руд, залегающих среди вулканогенно-осадочных толщ среднеюрского и среднеэоценового возраста; представителями медно-молибденовой формации являются месторождения Каджаран, Агарак, Анкаван, Дастакерт, Анкасар и др. с вкрапленными и прожилковыми молибденит-халькопиритовыми рудами среди гранитоидных массивов и иногда пород их кровли.

За последние два десятилетия установлена большая роль еще двух групп рудных формаций—железорудных и благородных металлов.

Железорудные формации представлены большим разнообразием типов руд, сложенных главным образом магнетитом, иногда титаномагнетитом и гематитом; широко развиты и представлены крупными объектами титаномагнетитовые месторождения среди габбро-пироксенитов и оливинитов (Сваранц, Калакар и др.), апатит-магнетитовые месторождения среди андезитов (Абовян), скарновые магнетитовые

месторождения (Раздан, Ахавнадзор, Базум, Кохбская группа и др.), связанные с гранитоидами мезокайнозойского возраста; менее развиты гидротермальные кварц-гематитовые руды (Боверигаш), метаморфогенные месторождения типа магнетитовых сланцев (Меградзор), эксгаляционно-осадочные с якобсит-магнетитовыми рудами (Чайкенд), осадочные типа магнетитовых песчаников (Агарцин и др.).

Что касается месторождений благородных металлов, то они представлены двумя главными типами, один из которых ассоциирует с теллуrom и висмутом (Зод, частично Меградзор), а другой—с полиметаллическими рудами (Тей-Личквас, Арманис, Шаумян и др.).

Из рудных формаций, представляющих второстепенный интерес, следует назвать: собственно-магматическую хромитовую в виде гнезд и вкрапленников среди дунитов и перидотитов (Шоржа и др.); эксгаляционно-осадочную и частью эпитеpмальную марганцовую с пирролюзит-псиломелановыми, иногда манганит-браунитовыми рудами, образующими небольшие линзы, прослои, штокверки среди вулканитов верхнего мела и палеогена; рутилоносных сланцев (Чкнах, Арзакан) метаморфогенного генезиса; полиметаллических руд, представленных жилами среди вулканогенно-осадочных пород (Газма, Барцраван, Гюмушхана и др.); киноварную (Сариландж, Советашен и др.); сурьмяно-мышьяковую или антимонит-реальгар-аурипигментовую (Амасия и др.).

Естественно, что для отмеченных рудных формаций и типов руд геофизические методы, применяемые для их поисков и разведки, различны.

Для железорудных месторождений, представленных магнетитовыми и титаномангнетитовыми рудами, конечно, наиболее эффективно применялись магниторазведочные методы поисков и разведки (работы Ц. Г. Акопяна, Э. А. Арутюнян, Д. С. Григорян и др.). Магниторазведка охватила почти все железорудные месторождения Армении—Кохбскую группу (Цакери-дош, Мисхана и др.), Раздан, Ахавнадзор, Анкаван, Дебаклу, Абовян (или Капутан), Агарцин, Меградзор, Сваранц, Калакар и др. и повсеместно дала вполне положительные результаты. Этими работами не только оконтурены площади магнитных аномалий, но для ряда месторождений оконтурены границы рудных тел, определена их мощность и глубина залегания слепых рудных тел, установлено простираание и падение рудных тел, даны рекомендации для производства разведочных работ и даже подсчитаны перспективные запасы, которые впоследствии подтвердились результатами разведки (Абовян, Раздан, Кохбская группа и др.).

Можно смело сказать, что геофизические (магнитометрические) работы в очень большой степени помогли геологам правильно оценить перспективы железорудных месторождений Армении. На месторождениях хромитовых руд (Шоржа и др.) успешно применялся метод вызванной поляризации в его наземном и подземном вариантах (С. В. Бадалян, Г. О. Газарян и др.) для оконтуривания тел массивных и густовкрапленных руд.

Для колчеданных (медных и барит-полиметаллических) месторождений в опытным порядке на отдельных месторождениях применялся комплекс геофизических методов—вызванной поляризации (ВП), естественного электрического поля (ЕП), сверхдлинноволнового варианта метода радиокип (СДВ), а также гравиразведка.

Работы этими методами проводились С. В. Бадаляном, В. Б. Гамояном, Г. О. Газаряном, Ш. С. Оганесяном на колчеданных месторождениях Алаверди, Шамлуг, Ахтала, Анкадзор, Кафан и дали обнадеживающие результаты.

Так, на Ахталском барит-полиметаллическом месторождении колчеданного типа был успешно применен подземный (шахтный) вариант метода вызванной поляризации для прослеживания рудных тел и рудоконтролирующих разломов, приведший к обнаружению новых рудных тел.

Методом радиоволнового просвечивания выявлены новые рудные тела на месторождениях Ахтала, Шамлуг и Кафан; на Анкадзорском рудном поле выделены оси геофизических аномалий, совпадающие с направлением простираения известных рудных тел. На Назои-юртском участке Анкадзорского месторождения методами вызванной поляризации, естественного электрического поля и гравиразведки установлены четыре аномальные зоны, на которых скважины подсекли зоны оруденения с промышленным содержанием металла (меди).

Там же, на участке Кошакар, методами ВП и ЕП установлены аномальные зоны, подлежащие проверке бурением.

На глубоких горизонтах Алавердского месторождения и на флангах Арманисского комплексом методов ЕП, ВП и гравиразведки выявлено несколько перспективных аномальных зон.

По данным Р. Т. Мириджаняна, на многих колчеданных месторождениях Армении применялся комплекс скважинных электрометрических измерений методами: скользящих контактов (МСК), электродных потенциалов (МЭП), самопроизвольной поляризации (ПС) и каротажа сопротивления (КС), которые установили ряд рудных интервалов на месторождениях Агви, Алаверди и др. Надо отметить, что в 1964 г. впервые для колчеданных месторождений Шамлуг и Ахтала Г. О. Газаряном был применен сверхдлинноволновой вариант метода радиокип, в основе которого лежит изучение электромагнитного поля радиостанций специального назначения, работающих в диапазоне частот 10 ÷ 30 кгц.

Этот метод имеет ряд преимуществ для выявления и прослеживания глубокозалегающих рудных тел, в особенности для поисков слепых рудных тел, установления контактов, тектонических нарушений.

Для вкрапленных и прожилково-вкрапленных медно-молибденовых руд месторождений Каджаран, Агарак, Анкаван, Дастакерт, Анкасар и др. обычно применяемые методы геофизических исследований положительных результатов не дают (за исключением метода радиоволнового просвечивания, давшего хороший результат для Дастакертского месторождения).

По данным Г. М. Ванцяна, для медно-молибденовых месторождений применима спектрометаллометрия (по поверхностным отложениям с ореолами повышенных содержаний меди и молибдена в наносах выявлен ряд перспективных участков). Хорошие результаты дает резистивиметрия или поисковая гидроэлектрометрия; химические анализы поверхностных вод медно-молибденовых рудных полей выявляют прямую зависимость содержания Мо и сульфат-иона в наиболее минерализованных водах. Путем измерения электрического сопротивления вод в различных пунктах гидрографической сети выделяются участки с пониженным сопротивлением, что соответствует водам с повышенной минерализацией и перспективным площадям.

Для полиметаллических руд жильного (Газма) и пластового (Привольное) типов наиболее эффективен метод скользящих контактов и обнадеживающие результаты дает иногда радиоволновое просвечивание; шахтный вариант этого метода фиксирует рудные тела— правда, дальность действия метода небольшая—десятки метров.

Для жильных и штокверковых месторождений благородных ме-

таллов, обычно сопровождаемых кварцем и полиметаллическими рудами (Зод, Меградзор, Тей-Личквас и др.), применялись и опробовались различные методы геофизических исследований: естественного электрического поля (ЕП), вызванной поляризации (ВП), сопротивлений (МС), пьезоэлектрический (ПЭ), сверхдлинноволновой вариант метода радиокип (СДВР), электрической корреляции (МЭК)\*, радиоволнового просвечивания и др.; работы носили, главным образом, опытный характер и имели целью выбор оптимального комплекса геофизических методов.

Большой интерес представляют работы по оценке глубины распространения оруденения на примере Зодского месторождения по геофизическим данным (исследования С. В. Бадаляна, В. Б. Гамояна и Ф. М. Фиданяна). На Центральном участке месторождения применялись подземные геофизические наблюдения методами: гравиразведки, естественного электрического поля, вызванной поляризации и сопротивлений. На основании этих работ были сделаны важные выводы о распространении кварц-сульфидной зоны участка «Центральный» на глубину ниже горизонта штольни 40 более чем на 800 м и о прослеживании кварц-сульфидной рудной полосы в левой части разреза по горизонтам штолен 5 и 25.

Положительный результат на Зоде дали и метод радиоволнового просвечивания и опыт применения пьезоэлектрического метода для выявления и оценки мощности кварц-сульфидных рудных тел.

Комплекс успешно примененных геофизических методов позволил сильно расширить перспективы на глубину и фланги рудных полей месторождений благородных металлов.

Наконец, для реальгар-аурилитовых руд сурьмяно-мышьяковой формации (Амасия) успешно применялся метод вызванной поляризации в его наземном и подземном вариантах.

Оценивая эффективность примененных геофизических методов для поисков и разведки различных типов рудных месторождений Армении, надо подчеркнуть большое значение для железорудных месторождений магнитометрии, для колчеданных медных и полиметаллических руд электроразведочных методов (индукции, заряженного тела, естественного электрического поля, вызванной поляризации), гравиразведки, а для выявления «слепых» рудных тел также метода радиоволнового просвечивания и сверхдлинноволнового варианта метода радиокип; для медно-молибденовой прожилково-вкрапленной рудной формации надежные результаты дает спектрометаллометрия и, в особенности, резистивиметрия (поисковая гидроэлектрометрия).

Полиметаллические руды геофизическими методами изучались мало; обнадеживающие результаты для их поисков и разведки получены при применении методов скользящих контактов, радиоволнового просвечивания и шахтного варианта последнего.

Для жильного и штокеркового типов месторождений благородных металлов положительный эффект дало применение методов естественного электрического поля, вызванной поляризации, радиоволнового просвечивания и пьезоэлектрического метода.

Несомненно одно—применение ряда предложенных геофизических методов поисков и разведки рудных месторождений различных типов способствовало обнаружению новых объектов, расширению перспектив глубоких горизонтов и флангов уже известных рудных полей. Сам собой напрашивается вывод о необходимости расширения фронта гео-

\* Мы сохраняем этот уже укоренившийся термин, хотя, по существу, так называемый метод электрической корреляции является разновидностью метода заряда. (Прим. ред).

физических работ на рудных месторождениях республики, о более широком применении комплекса электроразведочных методов и гравиразведки, об оснащении геофизических партий современной более точной и тонкой аппаратурой.

Непременным условием успеха является теснейшая координация геологических, геофизических и геохимических исследований на рудных полях, современная расшифровка выявленных аномалий и их проверка горными работами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Акопян Ц. Г., Арутюнян Э. А. Опыт магнитной разведки железорудного месторождения в сложных геологических условиях.—«Изв. АН Арм. ССР. Сер. геол. и геогр. науки», т. 10, № 4, 1957.
2. Арутюнян Г. В. Опыт применения электрической корреляции на Зодском золоторудном месторождении.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 25, № 6, 1972.
3. Арутюнян Э. А. Опыт применения магниторазведки при исследовании железорудных месторождений Северной Армении.—«Изв. АН АрмССР. Сер. геол. и геогр. науки», т. 12, № 5, 1959.
4. Бабурия Г. М., Халатян А. А. Перспективы Гехинского рудного узла по геофизическим данным.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 30, № 3, 1977.
5. Бадалян С. В. Опыт применения подземного варианта метода вызванной поляризации на Ахталском месторождении.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 18, № 5, 1965.
6. Бадалян С. В., Ванцян Г. М., Газарян Г. О. О геофизических поисках глубокозалегающих рудных тел на колчеданных месторождениях Армении.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 20, № 5—6, 1967.
7. Бадалян С. В., Матевосян А. Ш. Некоторые данные сравнительного изучения месторождений Севано-Амасийского рудного пояса методом вызванной поляризации.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 22, № 1, 1969.
8. Бадалян С. В., Гамоян В. Б., Фиданян Ф. М. Оценка глубины распространения оруденения на примере Зодского золоторудного месторождения по геофизическим данным.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 30, № 2, 1977.
9. Бадалян С. В. и др. К вопросу о перспективах флангов месторождений Алавердского рудного района по геофизическим данным.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 30, № 4—5, 1977.
10. Бадалян С. В. и др. Опыт применения пьезоэлектрического метода на золоторудных месторождениях.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 31, № 1, 1978.
11. Ванцян Г. М. К методике геофизических исследований рудных месторождений Армянской ССР.—«Изв. АН АрмССР. Сер. геол. и геогр. науки», т. 14, № 1, 1961.
12. Ванцян Г. М., Газарян Г. О. Возможности высокочастотной электроразведки при исследовании рудных месторождений Армении.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 24, № 3, 1971.
13. Газарян Г. О. Результаты опробования сверхдлинноволнового варианта метода радиокип в Армении.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 18, № 3, 1965.
14. Гамоян В. Б. К вопросу применения метода естественного электрического поля в подземных горных выработках.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 22, № 2, 1969.
15. Гамоян В. Б. О результатах применения метода естественного электрического поля в подземных горных выработках и в горизонтальных скважинах некоторых месторождений Армянской ССР.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 24, № 1, 1971.
16. Григорян Д. С. Об оценке перспектив Абовянского железорудного месторождения по данным магнитной съемки.—«Изв. АН АрмССР. Науки о Земле», т. 24, № 2, 1973.



В. Р. ЭТИНГЕР, Л. Д. КОЗЛОВА

(Главгеология Минцветмета СССР)

## РУДНИЧНАЯ ГЕОФИЗИКА НА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

После организации в 1966 г. Геологического управления Министерства цветной металлургии СССР начала воссоздаваться и укрепляться геофизическая служба в организациях и на горнорудных предприятиях отрасли. В настоящее время систематические геофизические исследования различных видов и направлений проводятся более чем на 50 ведущих комбинатах цветной металлургии силами десятков геофизических партий, отрядов, лабораторий, групп. Основной деятельностью геофизической службы Минцветмета СССР являются работы, направленные на более полное обеспечение сырьевой базой горнорудных предприятий и решение некоторых геолого-структурных, инженерно-геологических и горно-технических задач.

Рудничные геофизические исследования разделяются на два вида:

— комплексные геофизические работы на участках горных отводов эксплуатируемых месторождений для опискования этих площадей с поверхности;

— подземные геофизические работы в горных выработках для опоискования меж- и околорудных пространств и скважинные геофизические исследования для опоискования меж- и околоскважинных пространств.

Систематические исследования по первому направлению ведутся в районах эксплуатируемых золоторудных месторождений Забайкалья, золоторудных и полиметаллических месторождений Армении, медно-никелевых месторождений Кольского п-ва и Таймыра, медноколчеданных месторождений Среднего Урала и некоторых других. Используется принятый в этих районах комплекс методов: магниторазведка, радиометрия, электроразведка в модификациях ЕП, ВП, электропрофилеирования, в том числе дипольно-электромагнитного профилеирования (ДЭМП), гравиразведка. Наряду с геофизикой широко применяется такой геохимический метод, как металлометрия. Результаты этих исследований дают возможность использовать площади для последующих поисково-разведочных работ; помочь при оценке геологической позиции месторождений и составлении геологических и структурных карт; выявлять в ряде случаев отдельные ранее не известные тела; фиксировать рудоподводящие и рудоконтролирующие структуры и др.

К исследованиям этого направления следует отнести и геофизические работы методами электроразведки, сейсморазведки и гравиразведки на площади дражных полигонов для изучения морфологии россыпей и зон многолетнемерзлых пород (их оконтуривание в плане, определение глубины протайки). В целом все исследования на поверхности можно рассматривать как достаточно эффективные, хотя в ряде случаев их результативность полностью ныне оценить не представля-

ется возможным из-за отсутствия проверочных горных и буровых работ. Вместе с тем, при проведении исследований этого направления, как правило, не возникает специфических методических и технических трудностей, связанных с работой на эксплуатируемых месторождениях.

Иное положение при постановке подземных геофизических исследований, которые в настоящее время проводятся на целом ряде горнорудных предприятий. Следует отметить работы на месторождениях Норильского комбината, медноколчеданных месторождениях Среднего Урала (силами Уральской ГРЭ), полиметаллических месторождениях Адрасманского и Алмалыкского комбинатов (силами Среднеазиатской ГРЭ), Зырянского комбината (силами Алтайской опытно-методической партии), Армении (силами производственного геологического треста и ИГИС АН АрмССР) и некоторых других. Как видно из перечисления, работы проводятся на месторождениях сульфидных руд, существенно отличающихся от вмещающих пород по электрическим свойствам и плотности, что и обусловило преимущественное использование здесь электроразведки (радиоволновые методы, ДЭМП, ВП) и гравиразведки. Основными задачами исследований являются выявление рудных тел, пропущенных ранее при разведке или расположенных на более глубоких горизонтах, их оконтуривание, увязка друг с другом, фиксация рудоконтролирующих структур. Близкие по задачам работы проводятся на золото-полиметаллических месторождениях в Забайкалье (силами Забайкальской КГРЭ). Здесь с успехом применяют методы заряда, РВП и ВП для прослеживания выходов рудных тел, вскрытых подземными горными выработками, получения данных об увязке между собой рудных тел, изучения тектонических смещений и др.

Из работ на месторождениях других типов можно указать на исследования методом пьезоэлектрического эффекта (ПЭЭФ), проводимые на кварцевозолоторудных месторождениях комбината «Амур-золото», где с помощью этого метода обнаруживаются рудные жилы на расстояниях до 30—40 м от подземной выработки. Заметим, что на кварцевооловорудных месторождениях Солнечного ГОКа за счет некоторой модернизации аппаратуры и методики наблюдений оказалась возможной фиксация рудных жил на больших расстояниях от выработок до 120—200 м. Перспективные исследования этим же методом по инициативе Главгеологии начаты Дальневосточным ГМК с целью выявления полиметаллических рудных тел (силами ИФЗ АН СССР). В небольшом объеме проводятся работы по методу РВП на кварцевозолоторудном месторождении в Средней Азии, где удается оконтурить отдельные рудные жилы.

Учитывая важность этого направления исследований, Главгеология Минцветмета СССР предприняла ряд мероприятий по их развитию: в тресте Сибцветметавтоматика была организована геофизическая аппаратурная лаборатория, в которой были разработаны приборы АЭММ—ЗС, АЭММ—В4 (высокочастотные), фазовые приставки к аппаратуре АЭММ—1, АЭММ—ЗС, портативная двухканальная сейсмостанция преломленных волн СМПВ—2, аппаратура подземного каротажа «Галенит», продолжается разработка приборов для работ по методам заряда и корреляции с измерением магнитного поля, по методу ВП в помехозащищенном и портативном исполнении, по РВП с измерением фазы. По заданию Главгеологии разработаны восьмиканальная аппаратура пьезометода с магнитной записью ПАМЗ—8 и анализатор сигналов (САП) к ней (силами Тульского филиала ЦНИГРИ); кумулятивные заряды для метода ПЭЭФ (си-

лами отделения ВНИИГеофизика). Проводятся опытно-методические работы по подземной геофизике, для чего созданы партия Уральской ГРЭ и группа в тресте Сибцветметавтоматика; некоторые объемы опытно-методических работ ставятся и в других геофизических организациях Минцветмета СССР. Для разработки методики подземных геофизических исследований по договорам привлекаются НИИ и вузы (ЛГУ, МГУ, МГРИ, ЛГИ, ВИРГ и его Казахский филиал, СГИ, ЦНИГРИ, ИФЗ АН СССР, ИГИС АН АрмССР и др.).

Вместе с тем, эффективность методов подземной геофизики, несмотря на все эти мероприятия, в целом остается недостаточно высокой. Она свелась к обнаружению лишь нескольких рудных тел на некоторых участках отдельных месторождений. Причин этого, по-видимому, несколько. Прежде всего, это неблагоприятные геолого-геофизические условия, когда руды и вмещающие их породы слабо дифференцированы по физическим свойствам. В результате из опосредования оказываются практически исключенными многие меднорудные (например, медистые песчаники, медно-порфиновые), часть полиметаллических, практически все редкометалльные, ртутно-сурьмяные, вольфрамо-молибденовые и некоторые другие месторождения. Причем даже нет реальных перспектив на их включение в обследование геофизикой в течение ближайших лет. Сильнейшим препятствием к постановке методов подземной геофизики являются разного рода помехи, создаваемые в ходе разработки месторождений. Это «активные» помехи: электрические разряды с широким спектром частот, вибрация, температурные перепады, и «пассивные»: оборудование горных выработок, троллей, применение antivибрационной смазки в скважинах, наличие выемочных пустот в пространствах над плоскостью исследований и др.

Помимо причин объективного характера имеются и другие. Так, научно-исследовательские организации к настоящему времени к внедрению в производство предложили довольно ограниченный круг методов. Вместе с тем, одновременно разрабатывается в различных организациях несколько десятков методов (в основном, электромагнитных). Производственникам трудно оценить, какова перспективность всех этих методов и в развитие которого из них следует вложить средства. Необходимо в кратчайшие сроки выявить наиболее обещающие направления и форсировать по ним работы. Весьма желательна более эффективная координация усилий всех организаций, ведущих исследования по подземной геофизике. Недостаточно интенсивно проводится разработка и изготовление аппаратуры с учетом специфических требований, предъявляемых к приборам, работающим в горных выработках: портативность, пылевлагонепроницаемость, взрывобезопасность, помехозащищенность, antivибрационность.

С учетом изложенного перспективы дальнейшего использования методов подземной геофизики на горнорудных предприятиях цветной металлургии следует оценивать с определенной осторожностью. Безусловно, круг предприятий, охваченных геофизическими исследованиями, еще несколько расширится, возрастет и число исследований, вновь разрабатываемых методов и аппаратуры. Однако объемы исследований под землей в целом невелики и не будут существенно увеличиваться, особенно если иметь в виду переход в ближайшей перспективе на разработку месторождений открытым способом (в цветной металлургии на 75—80%). В свете этого, развитие подземной геофизики может быть связано, в первую очередь, с разработкой новых и существенным усовершенствованием существующих методов исследований

С. Ф. ФЕДОРОВ, Л. И. ВОЗНЕСЕНСКИЙ, М. В. МАКЕЕВ, А. П. САВИЦКИЙ  
Б. Н. ТИХОНОВ, И. Б. ХУРГИН

(Геолуправление Минчермета СССР, ВИРГ НПО  
«Геофизика» Мингео СССР)

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОФИЗИКИ НА ЭТАПЕ ДОРАЗВЕДКИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

За последние годы наблюдается интенсивное использование подземной геофизики при решении конкретных геологических и разведочных задач на горных предприятиях. Она широко применяется на различных стадиях—от детальных поисково-разведочных работ до контроля за процессом обогащения. Следует отметить две основные тенденции в развитии подземной геофизики. Первая из них отражает исследования по совершенствованию аппаратуры и методики работ, расширению круга решаемых задач и увеличению числа горных предприятий, на которых внедряются подземные геофизические методы как при поисково-разведочных работах (электро-, грави-, магниторазведка, методы скважинной геофизики), так и для экспресс-анализа минерального сырья (магнитное и ядерно-физическое опробование\*). Другая тенденция состоит в расширении круга месторождений черных металлов, на которых применяются ядерно-геофизические методы для определения вещественного состава руд.

На горных предприятиях Украины, Урала и Сибири внедряются радиоволновые методы с аппаратурой РВМ—ЗШС и шахтно-скважинная магниторазведка с аппаратурой КШСМ—38. Комплексное применение этих методов на шахте «Северо-Песчанская» и в Абаканском рудоуправлении позволяет решать такие задачи, как подтверждение и уточнение контуров рудных тел, установление связи между рудными подсечениями, выявление новых рудных тел, установление безрудных «окон», прослеживание из одиночных горных выработок хорошо проводящих протяженных рудных тел. Проведению работ на указанных месторождениях предшествовали лабораторные исследования электромагнитных свойств горных пород с серийной аппаратурой ИЭМС—1. Было измерено около 800 образцов керна. В результате установлено существование логнормального закона распределения электрических свойств, а по результатам сопротивления данных лабораторных измерений и в естественном залегании был сделан вывод о повышенном коэффициенте поглощения околорудной вмещающей толщей. Последнее обстоятельство снижает дальность просвечивания.

При работе в скважинном варианте метода радиоволнового просвечивания была установлена неэффективность существующих схем приемных устройств из-за значительного проявления антенного эффекта. Выполненные в ВИРГе НПО «Геофизика» исследования позволили разработать новую схему приемного устройства, в которой влияние антенного эффекта практически устранено. Схема состоит из

\* Опробование, в том числе ядерно-геофизическими методами, может быть отнесено к подземной геофизике только условно. (Прим. ред.).

скважинного приемника с автономным питанием и преобразователем частоты и двух скважинных фильтров с индуктивными связями. В качестве индикатора использовался шахтный приемник аппаратуры РВМ—ЗШС. Проведенные подземные испытания показали высокую надежность макета, особенно в сухих веерообразно расположенных скважинах, в которых при применении стандартных схем (с антенной на кабеле) имел место пропуск аномалий. Были проведены также работы по ослаблению паразитного влияния троллея за счет применения высокочастотных закороток. Было установлено, что рудные тела отмечаются и при наличии троллея в выработке, если в ней располагать передатчик, а в выработке без троллея—приемник. В ряде случаев были получены положительные результаты по комплексированию методов РВП, шахтной гравirazведки и скважинной магниторазведки. Применение метода РВП позволяет сократить объем буровых работ без потери геологической информации о строении месторождения. Об этом свидетельствуют сопоставление схематических геологических планов по гор.+345 м Абаканского рудника на момент проведения работ методом РВП (1973 г.) и по завершении горно-буровых работ (1976 г.). Результаты работ методом РВП на шахте «Северо-Песчанская» обобщены в соответствующих технических инструкциях и методических рекомендациях, переданных на указанные рудники. Дальнейшие исследования должны быть направлены на совершенствование методики интерпретации и аппаратуры РВМ—ЗШС, имеющейся на рудниках Минчермета СССР. Необходимо также проводить исследования по комплексированию методов РВП и подземной грави-, магниторазведки, разработать соответствующую методику работ.

Известны примеры успешного применения методов подземной гравirazведки при решении поисково-разведочных задач, особенно на рудниках Кривбасса и в Горной Шории. Вместе с тем в последние годы наблюдается развитие нового направления в рудничной гравirazведке, использующего изменение распределения гравитационного поля при решении горно-технических задач в процессе отработки железорудных месторождений.

В зависимости от принципа, положенного в основу решения, все горно-технические задачи, решаемые рудничной гравirazведкой, можно разделить на три группы.

К первой относятся задачи, решаемые в процессе изучения аномалий силы тяжести и ее производных. Для них сохраняют справедливость все основные положения и выводы, вытекающие из анализа возможностей рудничной гравirazведки применительно к решению геологоразведочных задач. Строго говоря, к этой группе могут быть отнесены и горно-технические задачи, решаемые рудничной гравirazведкой, поскольку изменения массы геологических объектов в процессе добычи отражаются на графиках распределения силы тяжести и ее производных. Однако сложность и трудоемкость выполнения отдельных операций при предварительной обработке и редуцировании результатов рудничной съемки делают более предпочтительным использование для решения горно-технических задач иных способов, рассматриваемых ниже. Поэтому к первой группе целесообразно отнести лишь такие задачи, которые не могут решаться другими способами: поиски в околовыработочном пространстве карстовых зон или иных пустот, естественных или искусственных (например, старые выработки).

Ко второй группе можно отнести задачи, решаемые методом разновременных измерений силы тяжести, сущность которого заключается в измерении и последующей расшифровке составляющей вертикального градиента  $W_{zz}$ . Он используется с целью определения плот-

ности обрушенных горных пород, слагающих зону обрушения Абаканского месторождения. Есть, однако, достаточно веское основание полагать, что в будущем метод разновысотных измерений силы тяжести сможет найти применение для решения таких задач, как оконтуривание зоны обрушения на различных глубинах и изучение ее водного режима.

В третью группу входят задачи, решаемые методом временных вариаций вторых производных гравитационного потенциала. Он основан на наблюдении и последующем истолковании изменений гравитационного поля, обусловленных проведением добычных операций. Целью исследований является контролирование качества этих операций, сопровождаемых перемещением или извлечением значительных масс горных пород и руд. В процессе контроля отработки компенсационных камер необходимо изучать рельеф обрушенной руды и определять коэффициент разрыхления в различных участках камеры. При контроле обрушения блоков частными вопросами являются: определение подвижки блоков в сторону зажимающей среды, фиксирование пустот, образовавшихся вследствие недостаточного погашения компенсационных камер, фиксирование неразрушенных массивов руды и определение коэффициента разрыхления отбитой руды в различных участках обрушенных блоков. При контроле выпуска рудной массы ставится задача определения пространственного положения контакта обрушенных руд и пород, а также локализация пустот («труб»), возникающих над выпускными отверстиями вследствие зависания слежавшейся рудной массы.

При отработке месторождений черных металлов важное значение имеют методы геофизического опробования, которые благодаря исследованиям, выполненным в ВИРГе и других организациях, нашли широкое применение в отрасли.

На магнетитовых месторождениях, эксплуатируемых Горным управлением Кузметкомбината, разработана и внедрена методика геофизического опробования практически по всему технологическому циклу горного предприятия. В основу метода положена зависимость магнитной восприимчивости пород и руд от содержания в них магнетита. Поскольку для месторождений существенно магнетитовых руд характерно наличие корреляционной зависимости между содержаниями общего и магнетитового железа, то по результатам измерений магнитной восприимчивости можно оценивать качество руд по двум показателям содержания—общему и магнетитовому железу.

В ВИРГе НПО «Геофизика» разработана и с 1974 г. выпускается серийно аппаратура РИМВ—1, предназначенная для выделения и определения содержания железа в подземных и буровзрывных скважинах, по стенкам горных выработок, для оценки качества отбитой рудной массы в навалах, вагонетках, самосвалах, а также для определения содержания железа в порошковых пробах продуктов переработки руды (исходная руда, концентрат, хвосты) на дробильно-обогадательной фабрике. В измерительных устройствах аппаратуры РИМВ—1 использованы двухкатушечные индукционные преобразователи, позволяющие за счет большого радиуса исследования значительно уменьшить влияние на результаты измерений изменения диаметра скважин и неровностей стенок выработок.

Методика опробования магнетитовых руд с аппаратурой РИМВ—1 основана на корреляционной зависимости между показаниями аппаратуры и содержанием железа. Эта зависимость устанавливается путем набора статистического материала по результатам измерений и химического опробования в одних и тех же интервалах (скважины,

стенки выработок и т. д.) для каждого конкретного месторождения. Установлено, что корреляционные зависимости в масштабе месторождения устойчивы и не изменяются по мере отработки новых горизонтов.

Оценка погрешности определения содержания железа по измерениям магнитной восприимчивости была выполнена на нескольких месторождениях путем сопоставления рядовых и контрольных измерений (внутренний контроль), а также результатов геофизического и химического опробования (внешний контроль). Кроме того, оценивалась погрешность химического метода опробования в отдельности. Погрешность определения содержания железа по геофизическим данным (внутренний контроль) составляет  $0,5 \div 1,8\%$  абс. и зависит от стабильности работы аппаратуры, влияния помех, шага измерений и т. п. Погрешность определения содержания железа по химическому методу (внутренний контроль) составляет  $1,0 \div 5,1\%$  абс. и обусловлена, главным образом, погрешностью отбора проб, зависящей, в свою очередь, от неравномерности оруденения. При сопоставлении геофизического и химического методов опробования (внешний контроль) оказалось, что расхождение определений содержания железа двумя методами составляет  $1,3 \div 5,3\%$  абс., т. е. имеет такой же порядок, как и погрешность химического опробования.

Опыт использования геофизического опробования с аппаратурой РИМВ—1 показывает, что в результате существенно повысилась оперативность и достоверность получения информации, снизились затраты на работы по опробованию, появилась возможность более обоснованно планировать качество руды и производить ее усреднение при отработке.

Из других методов геофизического опробования наибольшее развитие и применение получили селективный гамма-гамма (СГГМ) и рентгенорадиометрический (РРМ) методы.

В течение ряда лет СГГМ успешно применяется на шахтах Криворожского железорудного бассейна для опробования рудной массы непосредственно в горных выработках. По точности единичного определения содержания общего железа ( $0,5—1\%$ ) СГГМ не уступает геологическому опробованию, а время, необходимое для получения конечного результата, сокращается до 3—5 мин. Экспресс-опробование СГГМ позволяет вести почасовой и ежемесячный учет качества руды по каждому забою, предотвращает попадание некондиционных руд в рудный бункер, а кондиционных—в породный. В результате этого суточные колебания качества отгруженного сырья снижены на шахтах до  $0,5\%$  железа общего. В целом по Криворожскому бассейну годовой экономический эффект от использования СГГМ для опробования рудной массы оценивается суммой в 150—200 тыс. руб.

Применение гамма-гамма-каротажа (ГГК) для опробования сухих, слабообводненных скважин значительно расширило возможности буровой эксплуатационной разведки. Среднеквадратичная погрешность определения железа общего по ГГК составляет  $1,5—2\%$  абс. Внедрение ГГК обеспечило на ряде рудников переход на бескерновое бурение, что повысило производительность буровых работ в 5—7 раз по рудам и в 3—4 раза по вмещающим породам. С применением ГГК возможность проходки восходящих скважин позволила сократить число разведочных выработок на подэтажах.

По данным треста «Ленинруда» экономический эффект от внедрения ГГК на разведочных скважинах составил 125 тыс. руб. в год.

Существенный экономический эффект может быть получен от использования данных ГГК для корректировки контуров рудных тел

по взрывным скважинам, так как при этом улучшается качество обработки рудных залежей, снижаются потери и разубоживание руд.

СГГМ получил также широкое применение на горных предприятиях КМА. Во многих случаях он используется в сочетании с методом измерения магнитной восприимчивости, применяемым для определения содержаний железа, связанного с магнетитом. Внедрение геофизических методов опробования на Лебединском и Южно-Лебединском карьерах позволило улучшить осреднение богатых железных руд и получить значительный экономический эффект на металлургических заводах.

Опыт применения СГГМ в Кривбассе и КМА распространяется в настоящее время на другие горнорудные объекты черной металлургии Советского Союза. Для реализации СГГМ промышленностью выпускается рудничный прибор РСР—3, ведется разработка промышленного прибора для опробования руд и продуктов обогащения на транспортной ленте.

Кроме железорудных месторождений геофизические методы опробования находят применение на этапе эксплуатации месторождений хрома и марганца. РРМ внедрен в Донском хромитовом рудоуправлении, в Горном управлении Орско-Халиловского металлургического комбината и на других предприятиях. Метод применяется для анализа порошковых проб на содержание хрома, железа, кальция. Точность определения указанных элементов в хромовых рудах близка к точности рядового химического анализа, а в случае железных руд, хотя и является более низкой, вполне отвечает производственным требованиям. Время анализа одной пробы в зависимости от методики и числа определяемых элементов 1—3 мин. Разработанная методика позволит в ближайшее время применять РРМ для опробования хромитовых руд в естественном залегании, для анализа необработанных проб и продуктов обогащения.

Разработана методика рентгенорадиометрического определения марганца в рудах Никопольского бассейна.

Ведутся исследования по созданию методики и аппаратуры для рентгенорадиометрического анализа железных руд сложного вещественного состава, в том числе на содержание фосфора, магния, а также хромовых руд на содержание кремния.

Для реализации РРМ промышленностью выпускаются приборы БРА—6, «Квант», «Гагара» и др.

Задачами дальнейшего развития исследований в области подземной геофизики должны быть: разработка и совершенствование аппаратуры и методики, разработка новых методов, применение цифровой записи результатов и широкое использование вычислительной техники для обработки результатов.

С. М. СКОРНЯКОВ, А. Г. ТАРХОВ

(МГРИ Минвуза РСФСР)

## ОБЪЕМНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

За последние двадцать лет подземная геофизика достигла значительных успехов, обусловленных рядом ее специфических особенностей, на которые указывалось уже давно [10].

На рудных месторождениях подземная геофизика успешно решает задачи, связанные с поисками и прослеживанием отдельных тел и контролируемых зон в пространстве вокруг горных выработок и скважин, помогает выделять перспективные и, наоборот, безрудные участки, способствуя значительной экономии средств и времени. Установлена ее эффективность и при решении ряда горно-технических задач [7].

Выполнение геофизических исследований под землей в условиях полного пространства позволяет совершить переход к объемному представлению геологического объекта на основе изучения пространственного распределения того или иного физического параметра. Искусственные или естественные геофизические поля, создавая своеобразные ореолы вокруг геологических объектов, отражают их размеры, форму и ориентировку в пространстве. Соответственно, изучение этих полей на разных горизонтах методами подземной геофизики в сочетании с наземными и воздушными геофизическими наблюдениями позволяет представить пространственную картину аномального физического поля, связанного с конкретным рудным полем или месторождением (трехмерная геофизика).

Различные геофизические методы по-разному отражают размеры, пространственную ориентировку, форму и структуру изучаемых объектов. Даже при условии сопоставимой контрастности физических свойств в разных полях, на одном и том же горизонте, возникают аномалии, отличающиеся по размерам и интенсивности. Например, геомагнитные и гравитационные поля имеют большие градиенты напряженности, чем естественное электрическое и тепловое [11]. Сопоставляя результаты различных геофизических методов, удается рассматривать объекты как бы под разными углами и с разной степенью детальности. Разные физические поля отражают также различные элементы строения рудного поля. Так, многие электроразведочные методы позволяют установить характер распределения участков повышенной плотности токов внутри объекта, зависящий от размещения и взаимосвязи сульфидных тел, элементов тектоники и т. п. Гравиразведка выделяет раздувы в жилах и некоторые интрузивы, терморазведка—рудные залежи и тектонические зоны, имеющие большую протяженность на глубину. Поэтому для пространственного оконтуривания и выяснения особенностей строения рудных районов или месторождений геофизическими методами необходимо изучение различных полей.

На разных этапах геофизических исследований пространственные

физические модели рудных полей и месторождений по детальности отличаются. До проведения буровых и горных работ по данным воздушных и наземных съемок удается получить только часть контура физического поля, по которому можно судить в основном о горизонтальных размерах объекта и о его форме. Добавление данных подземной геофизики позволяет переходить к построению более полных физико-геологических моделей месторождений и отдельных рудных тел. На ранних стадиях поисково-разведочных работ промежуточные модели отражают пространственную позицию объекта, его форму и размеры, т. е. могут служить основой при предварительной разведке. По мере сгущения разведочной сети появляется возможность выделять элементы физических полей, соответствующие отдельным рудным телам, обогащенным и обводненным участкам и безрудным окнам. Сопоставление разнопараметровых физических моделей позволяет также представить некоторые особенности строения рудного поля или месторождения, в частности основные разрывные нарушения и дайки изверженных пород. Окончательные физико-геологические модели, полученные после завершения полного объема комплексных исследований, позволяют детально представить физические поля, связанные с конкретными рудными полями, месторождениями и рудными телами.

Решение задач, связанных с объемным представлением аномального поля геологических объектов, стало возможным только с развитием подземной геофизики и выделением ее в самостоятельную область исследований. Но и в настоящее время методика получения пространственных моделей аномального физического поля разработана только для некоторых методов, да и то в недостаточной степени. Так, на ряде месторождений Армении установлено, что ось поляризации естественного поля протягивается от самой верхней точки рудного тела к самой нижней его точке. Линейные размеры полей связаны с протяженностью рудных объектов, элементами их залегания, минералогическим составом и текстурой руд [3]. Известны аналогичные примеры и на других месторождениях как в СССР, так и за рубежом [6, 7]. В то же время необходимо отметить, что при прогнозировании развития оруденения на глубину по результатам ЕП не учитываются искажения, вносимые в структуру поля выработками и скважинами, а также усложнение его характера вблизи серии проводящих пластов. Эти обстоятельства зачастую приводят к значительному завышению размеров изучаемых тел [7]. Имеется также опыт применения метода заряда для получения объемных представлений о рудных зонах и отдельных телах внутри их на медноколчеданных месторождениях Урала [6]. Из зарубежных работ представляет интерес попытка построения подземных гравиметрических планов и разреза медного рудника Бизби в США [7].

Не все методы подземной геофизики отражают объемное строение рудного поля или его участков. Метод радиоволнового просвечивания (РВП) в его обычном варианте изучает распределение электромагнитного поля в пределах плоскости просвечивания, ограниченной контурами горных выработок и скважин. В значительной степени это относится и к методу заряда.

В течение ряда лет в МГРИ ведется разработка методов подземной геофизики, направленных на получение объемных картин аномальных физических полей на рудных месторождениях. В первую очередь следует отметить метод ПРКИ [4], который при работе на рудных месторождениях несет информацию об объемном распределении полезного ископаемого в пространстве, расположенном выше плоскости наблюдений. Вариант РП из одиночных скважин и выработок, основанный на интерференционных явлениях вблизи рудных

тел, используется для построения отражающих границ, соответствующих висячему или лежащему боку крутопадающих пластов сульфидных руд, позволяя судить об элементах залегания объектов и оценивать их размеры [9]. По данным терморазведки, полученным на разных горизонтах месторождения, строятся вертикальные и горизонтальные геотермические разрезы, на которых выделяются слои повышенной теплопроводности, пространственное распределение которых отражает структуру рудного поля.

Переход к решению задач, связанных с построением пространственных физико-геологических моделей конкретных месторождений и рудных полей, требует разработки новых принципов интерпретации, а также усовершенствования применяемых методик. Так, в подземном варианте метода СДВР, широко опробованном на ряде полиметаллических месторождений Кавказа [2], в последние годы применяется методика, основанная на измерении величины и направления векторов электромагнитного поля в вертикальной и горизонтальной плоскостях. После учета нормального поля определяется пространственное положение электрических осей, отвечающих наиболее электропроводным участкам рудного поля. Измерения в одиночных выработках позволяют представить картину распределения электромагнитного поля в окружающем их пространстве. Результаты, полученные по отдельным выработкам, коррелируются и объединяются в объемную геоэлектрическую модель изучаемого объекта. Густота сети определяется эффективным радиусом действия метода.

В рудной терморазведке в основу приближенной интерпретации положено понятие «условный пласт повышенной теплопроводности». Такие пласты располагаются вдоль профиля наблюдений, выше и ниже его, в зависимости от знака аномалии, а их протяженность и наклон определяются характером аномальных графиков. Корреляция теплопроводящих пластов между разведочными пересечениями и выделение их на участках, расположенных за пределами выработок, вскрывших рудные тела, позволяет построить объемную геотермическую модель месторождения или рудного поля.

Метод радиопросвечивания применяется для детализации отдельных участков геоэлектрической модели, при этом необходим переход к интерпретации, результатом которой являются не графики напряженности поля или лучевые диаграммы, а геоэлектрические разрезы, расчлененные на зоны, отличающиеся по степени поглощения радиоволн [8]. Эти зоны определенным образом увязываются с горными породами, отличающимися по электрическим свойствам, отражая геологическое строение разреза на участках между разведочными выработками. В ряде случаев, при наличии корреляционных связей электромагнитных свойств руд с их строением и составом, удается оконтурить руды различных типов.

В подземной гравиразведке удобно выделять схематизированные простые геометрические тела, обладающие эффективной массой, заданной на основании параметрических исследований. Размеры этих тел и их расстояние от разведочного профиля определяются характером аномальных графиков  $\Delta g$ . Увязка данных по совокупности профилей позволяет переходить к объемным телам, а неоднозначность в толковании подземных гравиметрических наблюдений исключается с помощью ПРКИ [11] и других методов подземной геофизики. В результате строится объемная плотностная модель месторождения.

Рассмотрим промежуточную пространственную модель конкретного колчеданно-полиметаллического месторождения, полученную по

данным электроразведки на этапе геофизических исследований, предваряющем стадию детальной разведки.

Рудовмещающие породы месторождения представлены глинистыми сланцами с прослоями песчаников. Удельное сопротивление вмещающей толщи меняется от нескольких сотен до тысячи ом, руд—от долей до первых единиц ом. Рудные залежи имеют пластовую форму и залегают согласно со слоистостью вмещающих пород. При этом они смяты в складки и образуют резкие раздувы мощностью до 100 м и пережимы мощностью до нескольких метров. Вдоль по продольным и поперечным разломам залежи разорваны и смещены с амплитудами до первых десятков метров. С пластовыми залежами массивных колчеданных руд связаны прожилковые и вкрапленные руды.

Система разведочных работ на месторождении проектировалась и развивалась без учета использования подземной геофизики, поэтому сеть тяжелых горных выработок на отдельных участках к началу исследований была излишне густой, а подземное бурение наоборот применялось в очень малых объемах.

Подземная электроразведка проводилась в двух штольнях, расположенных на разных горизонтах, расстояние между которыми составляет 100 м. Глубина верхней штольни достигает 150 м. В выработках месторождения применялись следующие методы: подземный вариант СДВ-радиокип, радиопросвечивание, различные модификации заряда и метод естественного поля. Результаты ЕП не удалось использовать при построении промежуточной модели, так как горные выработки не выходят за пределы аномального поля и возмущения на графиках связаны с влиянием частных деталей строения электропроводных объектов.

Работы методом СДВ-радиокип были проведены только в верхней штольне, так как на нижнем горизонте уровень сигнала оказался недостаточен для уверенных измерений. При обработке, после учета нормального поля, строилась картина распределения силовых линий магнитного поля в горизонтальной плоскости. Затем так же, как это делается при наземных наблюдениях, проводились электрические оси, отмечающиеся на профиле переходом вертикальной составляющей магнитного поля через ось абсцисс. Электрические оси всегда перпендикулярны силовым линиям поля, что облегчает их увязку между профилями.

Исследования методом радиопросвечивания были проведены в обеих штольнях. Значительная часть выработок верхней штольни пройдена непосредственно в рудных зонах и изобилует рудными подсечениями. По результатам РП были построены геоэлектрические планы участков штольни, на которых рудная толща была расчленена на аномальные зоны трех типов, отличающихся величинами коэффициента поглощения. При этом оказалось, что на частоте 5 мГц массивные руды соответствуют зонам, имеющим коэффициент поглощения более 0,4 Нп/м, прожилковые—от 0,28 до 0,4 Нп/м, а вкрапленные—от 0,16 до 0,25 Нп/м. Вмещающие породы в пределах участков оказались монотонны по электромагнитным свойствам и расчленены не были. Радиопросвечивание между горизонтами штолен 1 и 3 не проводилось в связи с недостаточной дальностью метода в условиях низкоомной сланцевой толщи.

На блок-диаграмме (рисунок) представлена промежуточная модель месторождения по данным электроразведки. Результаты метода СДВ-радиокип позволили построить распределение электрических осей вблизи выработок верхней штольни месторождения, проследив их основную тенденцию выше и ниже горизонта. При этом были по-

лучены 4 электрические оси. Электрическая ось 1 в пределах горизонта располагается обособленно: можно предполагать, что она соответствует отдельному рудному телу сравнительно малых размеров. Оси 2 и 3, приходящие сверху, и ось 4, приходящая снизу, сливаются и образуют единую ось, погружающуюся в направлении штольни 3.

Сопоставление данных метода заряда (модификация МЭК) с результатами СДВ-радиокип показало, что из большого числа вариантов возможного соединения рудных интервалов, полученных по данным МЭК, метод СДВ-радиокип выбирает ограниченное количество. Оси СДВ-радиокип не являются кратчайшими расстояниями между точками заземления и не обязательно пересекают профиль, а могут проходить и в стороне от него. Применение МЭК требует хотя бы одного, а обычно двух рудных подсечений, при идентификации рудных тел эффект возрастания тока может наблюдаться и в случае разоб- щенных объектов, например, при малых переходных сопротивлениях заземлений.

По данным РП на рисунке для наглядности выделены зоны, соответствующие только массивным рудам. Зона 1 пространственно приурочена к электрической оси 1 и не связана с остальными. Массивные руды зон 2, 3 и 4 соединены осями 2 и 3 благодаря прожилковым рудам, которыми они окружены. В нижней штольне зоны высокого поглощения имеют небольшие размеры.

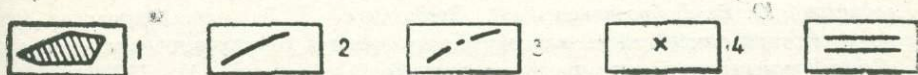
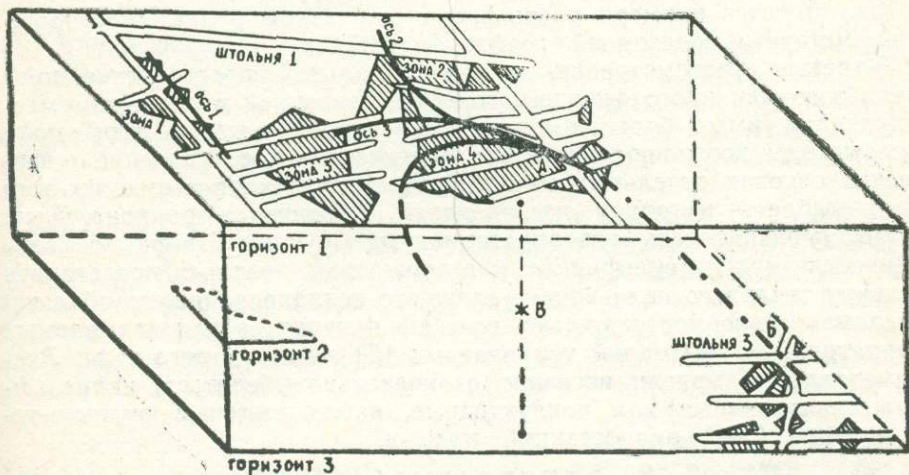
При увязке рудных тел между горизонтами методом заряда была установлена связь точки А в штольне 1 с точкой Б в штольне 3. Близость точки А к месту погружения суммарной оси СДВ-радиокип позволила трассировать эту ось на глубину до горизонта нижней штольни.

Между горизонтами нанесено положение «электрического центра» электропроводящих масс месторождения (точка В), полученного в результате наблюдений по специальной методике, заслуживающей отдельного рассмотрения. Применялась аппаратура для двухчастотных измерений ВП [1]. Этот центр приблизительно соответствует фиктивному источнику, влияние которого заменяет эффект от всех электропроводных объектов месторождения.

Сопоставление результатов свидетельствует, что каждый метод электроразведки фиксирует лишь отдельные особенности строения месторождения. Электрические оси СДВ-радиокип пространственно приурочены к его наиболее электропроводным участкам, своеобразным каналам, благоприятным для концентрации электрических токов. Эти оси образуют как бы электрический каркас рудного поля, отражающий элементы структуры объекта, его форму и условия залегания. Метод РП представляет месторождение как систему зон с различной способностью поглощать радиоволны. Построение этих зон в виде погоризонтных планов, а в благоприятных случаях—вертикальных разрезов, позволяет судить о характере распределения горных пород и руд различных типов в пределах месторождения, о морфологии отдельных рудных тел, а при наличии зональности в строении залежи отражает ее характер. По сравнению с СДВ-радиокип на данном этапе разведки этот метод является детализационным и применяется позже. Роль различных модификаций метода заряда в рассмотренном примере сводится к проверке электрических осей СДВ-радиокип и трассированию их на глубину.

Коротко остановимся на геологической эффективности рассмотренной модели. К моменту ее создания (1971—1972 гг.) основную массу рудных тел месторождения обрывали на уровне горизонта 2. Данные рисунка, в частности положение электрического центра, указывают на более плавное выклинивание рудных тел с глубиной. Проме-

жучочная модель отражает элементы залегания рудных тел, а также существенные особенности, установленные позднее, на стадии детальной разведки. Так, геологами, изучавшими месторождение (Н. К. Курбанов, О. А. Кадымов, Н. В. Зайцева и др.), в его пределах выделены три рудных тела. Оказалось, что зона 1 и ось 1 на верхнем горизонте блок-диаграммы соответствуют рудному телу 1. Зоны 2 и 3 соответствуют рудному телу 2, а зона 4 с осью 4—рудному телу 3. Оси 2 и 3 указывают на продолжение рудного тела 2 выше горизонта штольни 1 и отражают направление его падения. Между рудными телами 2 и 3 развиты прожилковые руды, что объясняет их электрическую связь (оси 2 и 3), а рудное тело 2 в плоскости горизонта в результате смещения подвергнуто интенсивному будинажу, что привело к выделению двух зон по данным РП.



Промежуточная модель колчеданно-полиметаллического месторождения по данным электроразведки

1—зоны, соответствующие массивным рудам, по данным РП; 2—электрические оси (метод СДВ-радиокип); 3—электрическая ось (метод заряда); 4—электрический центр; 5—горные выработки.

В заключение остановимся на важнейших задачах, решению которых способствуют пространственные модели физических полей рудных месторождений

Во-первых, с их помощью может проводиться совершенствование методики разведки. Промежуточные физико-геологические модели при этом используются для проектирования и развития оптимальных систем разведки. В результате, не снижая геологической достоверности получаемых данных, можно перейти к целенаправленным разведочным сетям, завершить в кратчайшие сроки отдельные стадии разведки и в ряде случаев сократить объемы горно-буровых работ. Окончательные геоэлектрические, плотностные, геотермические и другие физические модели рудных месторождений классифицированные по типам, могут применяться для моделирования процесса геологоразведочных работ, включающего современные методы подземной геофизики. Эти же типизированные модели позволят на ранних этапах геофизических работ отнести новое месторождение к тому или иному типу, а значит и выбрать наиболее рациональную систему разведки.

Во-вторых, являясь источником информации о форме, структуре и положении аномальных объектов, а также позволяя расширить представления о глубинном строении рудного поля, разнопараметровые модели физических полей помогают ответить на некоторые вопросы, относящиеся к генезису месторождений, в частности о наличии пространственно-генетической связи группы месторождений или рудопроявлений между собой и т. п. Так, аномальные поля уплощенной или изометрической формы, полученные на ранних этапах геофизических исследований, позволяют предположить наличие контактово-метасоматического месторождения; электрические оси или серия теплопроводящих пластов, сходящихся на глубине вблизи от объекта повышенной плотности, могут помочь представить взаимное расположение рудного месторождения и материнского интрузива.

Уже имеются примеры расшифровки структуры рудных месторождений методами подземной геофизики [8].

В-третьих, рассмотрение экспериментальной пространственной модели того или иного физического поля, связанной с реальным месторождением, имеет большое научное значение для рудной геофизики. Такие методы позволяют развить теоретическое представление о физических основах отдельных методов, определить круг решаемых ими задач, выбрать методику исследований, обосновать рациональный комплекс, разработать интерпретационный подход. Например, геотермические модели сульфидных месторождений, позволяя представить структуру теплового поля вокруг сложного теплопроводящего объекта, экспериментально подтверждают наличие и характер так называемых «отрицательных» аномалий температуры [5] ниже рудного тела. Экспериментальные модели позволяют окончательно убедиться, какие эффекты, индуктивные или кондуктивные, наблюдаются в рудных телах в поле СДВ радиостанций и т. д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аладинский Ю. В., Бобровников Л. З., Богданчиков Л. П. и др. Аппаратура для двухчастотных измерений вызванной поляризации в горных выработках.—В кн. «Опыт применения и пути развития рудничной геофизики». М., 1971.
2. Газарян Г. О. Подземная геофизическая разведка методом радиокип. Канд. дис. М., 1970.
3. Гамоян В. Б. Применение естественных электрических полей и полей промышленных блуждающих токов в подземных горных выработках при решении поисково-разведочных задач. Канд. дис., Ереван, 1972.
4. Бондаренко В. М. Использование космических лучей в геологии. М., «Недра», 1964.
5. Лахтионов М. О. Подземная терморазведка сульфидных руд (на примере колчеданных месторождений Урала). Канд. дис., М., 1967.
6. Мошсеев В. С. Методы заряда и естественного электрического поля при поисках и разведке полиметаллических рудных полей. Канд. дис., Новосибирск, 1973.
7. Тархов А. Г., Бондаренко В. М., Коваленко В. Ф. и др. Подземная геофизика. М., «Недра», 1973.
8. Бабкин И. Н., Гнидчин В. М., Миронов Е. П. и др. Применение радиоволновых методов при изучении структуры колчеданно-полиметаллического месторождения.—«Тр. ЦНИГРИ», вып. 109, 1973.
9. Скорняков С. М., Тархов А. Г. О геологических возможностях радиопрофилирования в скважинах и подземных горных выработках.—«Изв. вузов. Геология и разведка», № 6, 1969.
10. Тарханов А. Г. Подземная геофизическая разведка.—«Изв. вузов. Геология и разведка», № 1, 1958.
11. Тархов А. Г., Бондаренко В. М., Никитин А. А. Принципы комплексирования в разведочной геофизике. М., «Недра», 1977.

А. Г. ТАРХОВ, В. М. БОНДАРЕНКО, С. М. СКОРНЯКОВ

(МГРИ Минвуза РСФСР)

## ПОДЗЕМНАЯ ГЕОФИЗИКА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ РАЗВЕДКИ

Проектирование разведочной сети обычно проводится на основе прогнозных материалов, применяемых как на исследуемом участке, так и на других, аналогичного строения. Надежные представления о морфологии месторождения, условиях залегания, размерах и общих контурах складываются зачастую после проходки значительного числа горных выработок и скважин.

Густота сети зависит от изменчивости ведущих геолого-промышленных параметров и устанавливается опытным путем. Особенности трудности вызывает проектирование разведочной сети для вновь открытых месторождений, скрытых под мощными наносами. В результате неизбежны непроизводительные затраты, связанные с неправильным выбором первоначальной формы сети, проходкой излишних выработок и скважин на малоизменчивых участках, возможным пропуском рудных тел.

Сказанное можно иллюстрировать сопоставлением проектных разрезов, на основе которых выбиралась система разведки, с результатами детальных работ для конкретных месторождений. Как правило, постфактум представляется возможным ввести значительные усовершенствования в применявшуюся систему разведки. Например, на одном колчеданно-полиметаллическом месторождении Забайкалья первоначальная система разведки исходила из представлений о крутом падении рудных тел и только по прошествии длительного времени в результате выполнения значительных объемов бурения было доказано их пологое залегание.

В процессе разведки методика, игнорирующая подземную геофизику, ограничивается информацией, получаемой вдоль разведочного пересечения. Опространстве между выработками и скважинами судят, прибегая к интерполяции. При такой методике нередки пропуски рудных тел, что также приводит к увеличению затрат времени и стоимости работ, а нередко и к искажению запасов ископаемого.

Геофизические методы, начиная с самых ранних этапов разведки, позволяют выделить контуры месторождения как в плане, так и по падению, и реализовать известный принцип изучения недр—от общего к частному. Так, на уже упоминавшемся месторождении Забайкалья методами СДВ-радиокип и РП удалось в короткий срок установить особенности структуры месторождения, изучить основные разрезы и отдельные рудные тела [2]. В то же время необходимо помнить, что методы геофизики применимы не во всех условиях и способны решать не все задачи разведки. Поэтому в общем случае они остаются вспомогательными. Это связано, в первую очередь, с отсутствием на сегодняшний день геофизических методов, позволяющих не только выя-

вить рудный объект и определить его размеры, но и установить на расстоянии тип руды и содержание важнейших компонентов.

При благоприятной обстановке: отчетливой дифференциации пород и руд по физическим свойствам, геофизически монотонной вмещающей толще, низком уровне различных помех, применение подземной геофизики может оказать решающее влияние на проектирование и развитие системы разведки месторождения. Это влияние выражается в применении более дешевых видов разведочных средств и в переходе к дифференцированным и целенаправленным разведочным сетям. Использование современных методов подземной геофизики может потребовать принципиально иных путей разведки месторождений. Например, в ряде случаев верхние горизонты месторождения разведываются детальнее, чем глубокие. При этом снижается эффективность подземной геофизики. Так, нередко метод ПРКИ используется на уже разведанных участках, но ограничены объемы работ методами заряда, терморазведки, гравиразведки. Опираясь на средства подземной геофизики, разведку некоторых месторождений можно вести снизу вверх, используя специальную «опорную» выработку, расположенную под основной массой разведываемого ископаемого. Предварительная разведка основной массы ископаемого, залегающей выше горизонта опорной выработки, выполняется комплексом методов подземной геофизики, в котором ведущими являются методы ПРКИ и РВП. По полученным данным строятся пространственные плотностные, геотермические и геоэлектрические модели месторождения, используемые для выбора рациональной системы разведки и эксплуатации. Нижние горизонты изучаются гравиразведкой, терморазведкой и другими методами из опорной выработки и подземных буровых скважин. Немаловажно и то, что такая система разведки способствует лучшему сохранению ландшафта местности.

Выбор оптимальных систем разведки предусматривает решение геофизическими методами хотя бы некоторых из следующих важнейших задач.

1. *Определение внешних контуров месторождения* проводится в основном на стадии предварительной разведки при использовании одного или нескольких физических параметров. В случае большой протяженности залежи на глубину контур по падению отбивается только из подземных выработок, густота сети при этом определяется эффективным радиусом действия ведущего метода, форма сети—особенностями геофизического комплекса, а количество выработок зависит от размеров месторождения. В результате создаются объемные модели физических полей месторождения, которые обычно несколько отличаются по форме друг от друга и от соответствующей геологической модели, но зато могут быть построены значительно раньше последней. Заметим, что и геологическая модель отличается от геолого-промышленной, являющейся конечной целью разведки. Своевременное определение геофизических контуров месторождения и построение объемных моделей физических полей значительно ускоряет завершение ранних этапов разведки.

В большинстве случаев возможно заменить подземные горные выработки буровыми скважинами, исключить или существенно сократить горно-буровые работы за пределами геофизических контуров, а аномальные участки проверять по разреженной сети.

2. *Выделение внутренних контуров второго порядка*, под которыми понимают обогащенные, обедненные и безрудные участки, сводится к обнаружению зон, представляющих собой сгущения и разрежения аномального геофизического поля различной интенсивности. Соответ-

ствующие пороговые значения физического параметра устанавливаются опытным путем на изученных участках. Контуры второго порядка локализуются как в плане, так и по вертикали. Геологическая проверка позволяет установить природу каждого контура и присущие ему характеристики полезного ископаемого, а также, что особенно важно, наличие или отсутствие корреляционных связей между той или иной характеристикой и измеряемым физическим параметром. Разбуривание контуров второго порядка осуществляется пакетами по выборочной сети с плотностью, требуемой ГКЗ. Горно-буровые работы выявленных контуров носят целенаправленный характер, при этом сокращается количество выработок. Существенно также, что появляется возможность работы вести массированно и тем самым значительно сократить сроки завершения той или иной стадии разведки.

3. *Оценка изменчивости важнейших свойств полезного ископаемого.* Эти работы начинаются еще на стадии предварительной разведки, но в основном относятся к этапу детальной разведки. Задача подземной геофизики состоит в дистанционном определении типа руды и содержания в ней важнейших компонентов. Эта задача на сегодняшний день решается лишь в исключительных случаях и частично. Так, иногда некоторые геофизические методы позволяют косвенно судить о характере изменчивости тех или иных качественных характеристик полезного ископаемого. Известны примеры связи отдельных свойств природных руд с плотностью, магнитной восприимчивостью, теплопроводностью, электропроводностью и другими физическими параметрами. Примером может служить прямая корреляционная зависимость коэффициента поглощения радиоволн от содержания в руде металла. На основе таких связей создаются методы интерпретации данных, позволяющие проводить оценку изменчивости соответствующих свойств. Для этого используются погоризонтные геофизические планы и разрезы, расчлененные на зоны сгущений, обладающие различной интенсивностью аномального поля. Эти планы и разрезы могут быть получены на основании измерения физических полей от объектов, расположенных в стороне от профиля наблюдений (вариант съемки) или между профилями (вариант просвечивания). На планах и разрезах в пределах геофизического контура месторождения выделяют однородные блоки по средним значениям коррелирующего параметра внутри заданного объема и безаномальные участки—блоки пустых пород. Между ними могут располагаться переходные зоны, отличающиеся резкими изменениями поля. Геофизически однородные блоки могут соответствовать также различным природным типам руд. Плотность горно-буровых работ внутри безрудных блоков, а в некоторых случаях и в геофизически однородных блоках может быть понижена, переходные же зоны требуют обычно детального изучения. Эта методика особенно перспективна при подсчете запасов полезного ископаемого.

Для разрежения разведочной сети на этом этапе используется корреляция ведущего фактора, определяющего ее густоту, с физическим параметром, надежно измеряемым при более редкой сети. Плотность новой сети будет определяться эффективным радиусом действия используемого метода подземной геофизики. Разрежение сети может быть достигнуто и путем замены ведущего фактора другим, определяемым геофизическим методом с более высокой точностью. Так, можно реализовать корреляционную связь между содержанием полезного компонента и мощностью рудного тела, определяемой по данным геофизики, например, в пространстве между выработкой и

дневной поверхностью, методом ПРКИ. Однако в общем случае основной задачей на этом этапе остается повышение достоверности разведки, а не уменьшение объема горно-буровых работ.

Большой экономический эффект при изучении изменчивости важнейших свойств полезного ископаемого может принести переход от разведки подземными горными выработками к комбинированным горно-буровым системам или к разведке одним бурением. Повышение надежности и представительности разведочных данных при этом переходе достигается также применением подземной геофизики.

Таким образом, геофизические методы позволяют на всех этапах разведки переходить к целенаправленным сетям, заменять тяжелые горные выработки более легкими без снижения достоверности разведки, заканчивать отдельные этапы с заметным опережением в ряде случаев, особенно на ранних стадиях разведки, а также в пределах безрудных участков, существенно сокращать количество подземных горных выработок и скважин. В отдельных случаях уже сегодня возможен переход к принципиально новым системам разведки на основе включения в методику разведки современных методов подземной геофизики.

Рассмотренные особенности проектирования и развития систем разведки до сих пор почти не реализуются. Одной из причин этого является отсутствие единых геолого-геофизических проектов разведки, учитывающих возможности современных методов подземной геофизики. Поэтому нет нужной последовательности применения геофизических и других методов разведки, многие эффективные методы подземной геофизики не применяются, а если и применяются, то их данные поступают позже геологических и слабо используются. Корреляционные связи между важнейшими свойствами полезных ископаемых и многими геофизическими параметрами изучаются неполно и далеко не всегда. Существующие системы разведки учитывают необходимость применения визуальных исследований, отбора проб и пространственной привязки точек, но полностью игнорируют необходимость проведения подземных геофизических исследований. Здесь уместно отметить, что включение подземной геофизики в методику разведки месторождений, принося большую геологическую и экономическую эффективность, в то же время требует и некоторых издержек. Так, необходимы некоторые дополнительные горно-буровые работы для удовлетворения требований подземной геофизики: продление отдельных профилей до выхода в нормальное поле, бурение шпуров в подземных выработках, вырубка специальных ниш для установки некоторых видов аппаратуры, временное удаление искусственных проводников на некоторых участках, принятие мер по сохранению буровых скважин, штолен и т. д.

Вышеизложенное свидетельствует о необходимости широкого участия специалистов по подземной геофизике в составлении проектов разведки месторождений полезных ископаемых, в их рецензировании и обсуждении.

В заключение отметим, что первоочередной задачей подземной геофизики остается развитие существующих и создание новых методов, отражающих изменчивость ведущих свойств полезных ископаемых. Необходимо обратить внимание также на разработку новых параметрических методов, изучающих свойства, непосредственно интересующие специалистов-горняков. Измерение этих свойств методами подземной геофизики в условиях естественного залегания повысит достоверность результатов и позволит установить новые корреляционные связи. При проектировании и оптимизации систем разведки не-

обходимо исходить из сравнения результатов разведки конкретных месторождений полезных ископаемых с результатами моделирования оптимизированной системы, основанной на использовании современных методов подземной геофизики. Только при этом условии будет обеспечена максимальная эффективность геологоразведочных работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коткин В. С., Рогачев Б. В., Скорняков С. М. К вопросу о разработке комплексов геофизических исследований на основе типизированных геолого-геофизических моделей рудных месторождений.—«Тр. ЦНИГРИ», вып. 116, 1974.
2. Бабкин И. Н., Гнидчин В. М., Миронов Е. П. и др. Применение радиоволновых методов при изучении структуры колчеданно-полиметаллического месторождения.—«Тр. ЦНИГРИ», вып. 109, 1973.
3. Сафронов Н. И., Лихарев Б. Б., Мещеряков С. С. и др. Применение скважинных геофизических и геохимических методов при разведке сульфидных месторождений.—В кн. «Разведочная геофизика в СССР на рубеже 70-х годов». М., «Недра», 1974.
4. Гархов А. Г. Подземная геофизика сегодня и завтра.—В кн. «Разведочная геофизика в СССР на рубеже 70-х годов». М., «Недра», 1974.

В. М. СТЕПАНОВ, Л. А. СТЕНИН

(Уральская ГРЭ Минцветмета СССР, СГИ Минвуза РСФСР)

## К МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА СТАДИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Экономический анализ и, в частности, определение экономической эффективности геофизических исследований на различных стадиях изучения геологического строения земных недр осложняется в большинстве случаев необходимостью решения целого ряда методологических и теоретических вопросов, вытекающих из специфики геологического производства. Это прежде всего вопросы комплексирования геологических и геофизических методов картирования, поисков и разведки, обуславливающие возникновение взаимосвязанных факторов. При решении, по-существу, единых картировочных и поисковых задач, эффективность отдельных методов в получении заданного объема информации об изучаемом геологическом объекте (при различных материальных, трудовых и денежных затратах) не может быть установлена на основе прямых расчетов. Требуется применение методов теории информации, исследования операций и др., позволяющих элиминировать влияние одних факторов и выделить другие, интересующие нас [3, 4].

Значительно проще эти вопросы решаются на стадии разведки, когда эффективность выполненных геологических или геофизических работ может быть определена по таким количественным показателям, как сроки разведки и прирост запасов полезного ископаемого, достигнутым в результате внедрения в геологическое производство того или иного метода в условиях конкретного месторождения, с точным учетом произведенных затрат.

Экономическая сущность геофизических методов может рассматриваться в двух аспектах:

1. Затраты на их применение составляют часть капитальных вложений (вложения в основные фонды) в общем комплексе геологоразведочных работ.

2. По своему производственному содержанию они являются новой техникой.

Согласно «Типовой методике определения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве СССР» [5], экономическая эффективность капитальных вложений измеряется достигнутым на их основе приростом физического объема чистого продукта. В рассматриваемом случае—приростом запасов на основе капитальных вложений в основные производственные фонды на геофизическую разведку. Показателем экономической эффективности капитальных вложений является коэффициент общей (абсолютной) эффективности. При планировании капвложений в отрасли, производящие взаимозаменяемую продукцию, предусматривается также

определение сравнительной экономической эффективности, расчеты которой производятся путем сопоставления себестоимости продукции (работ), удельных капитальных вложений и выведения срока окупаемости.

Более поздняя «Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений» [6] учитывает основные положения экономической реформы. Показатель эффективности определяется как отношение прибыли к вызвавшим эту прибыль капитальным вложениям.

При определении экономической эффективности внедрения новой техники согласно [5] нужно ответить на два вопроса:

1. Насколько технически и экономически прогрессивно данное мероприятие и целесообразно ли проводить его в жизнь?

2. Какова величина эффекта, который получит народное хозяйство от проведенного мероприятия в конкретных условиях?

Учитывая требования [5, 6], покажем некоторые пути определения экономической эффективности внедрения методов разведочной геофизики на одном из предприятий Урала, выполняющего методами геофизики следующие работы:

1) поиски пропущенных рудных тел и перспективную оценку отдельных площадей и участков;

2) ревизию отработанных горизонтов и отдельных участков;

3) исследования в скважинах при разведке месторождений.

Геофизические исследования уменьшают потери руды в недрах, позволяя выявлять рудные тела, пропущенные в процессе разведки эксплуатационных этажей, и в общем случае сокращают объемы бурения при изучении перспективных площадей, прилегающих к рудному полю (фланги и глубокие горизонты месторождения).

Затраты на геофизические и буровые работы по проверке рекомендованных аномалий ( $C_0$ ) могут быть определены по следующей формуле:

$$C_0 = n \cdot H \Delta N (C_d + E_n K_d) + [(C_{gf}^s + C_{gf}^d) + E_n (K_{gf}^s + K_{gf}^d)] \cdot \alpha, \quad (1)$$

где  $\alpha$  — протяженность выработок, в которых возможна постановка геофизических исследований, пог. км;

$\Delta N$  — число геофизических аномалий, рекомендованных к проверке бурением;

$H$  — средняя глубина скважины при разбуривании рекомендованных геофизических аномалий, м;

$n$  — число скважин, пробуренных при проверке аномалий;

$C_{gf}^s$  — стоимость поисковых геофизических работ, приходящаяся на 1 пог. км выработок, руб.;

$C_{gf}^d$  — стоимость детальных геофизических работ на 1 пог. км выработок, руб.;

$C_d$  — стоимость бурения 1 пог. м при проверке геофизических аномалий, руб.;

$K_{gf}^s$  — капитальные вложения в геофизическую разведку при проведении поисковых работ, руб.;

$K_{gf}^d$  — то же, при проведении детальных работ, руб.;

$K_d$  — капитальные вложения в буровую разведку, руб.;

$E_n$  — отраслевой коэффициент экономической эффективности.

Оценка потерь от пропуска рудных тел может быть определена путем расчета затрат, необходимых для выявления и разведки эквивалентной величины запасов металла по формуле

$$C_M = Q \cdot \alpha (C_{pa} + C_p), \quad (2)$$

где  $C_M$ —стоимость поисковых и разведочных работ в пересчете на соответствующую величину запасов металла, руб.;  
 $\alpha$ —процентное содержание металла в руде;  
 $Q$ —величина запасов кондиционных руд;  
 $C_{pa}$  и  $C_p$ —стоимость поисковых и разведочных работ соответственно, приходящаяся на 1 т металла, руб.

Тогда прибыль ( $P$ ), которую обеспечит внедрение геофизических методов, может быть исчислена как разность произведенных затрат на поисково-разведочные работы  $C_M$  и  $C_0$ , т. е.

$$P = C_M - C_0, \quad (3)$$

а экономическая эффективность внедрения методов разведочной геофизики—как отношение полученной прибыли к затратам на геофизические исследования

$$E_{gf} = \frac{P}{[(C_{gf}^s + C_{gf}^d) + E_n(K_{gf}^s + K_{gf}^d)] \cdot \alpha}. \quad (4)$$

Если геофизические аномалии, рекомендованные к проверке бурением, частично окажутся нерудными или будут соответствовать рудным телам с некондиционным содержанием металла в руде, при расчете прибыли и определении экономической эффективности должен быть введен поправочный коэффициент, учитывающий отношение аномалий, соответствующих рудным телам с кондиционными рудами, к общему числу аномалий, рекомендованных к проверке бурением.

При эксплуатационной разведке результаты геофизических исследований используются с целью ревизии отработанных горизонтов и отдельных участков и служат дополнительным основанием для прекращения геологоразведочных работ.

Экономическая эффективность геофизических методов определяется в этом случае путем сравнения двух вариантов проведения ревизионных работ: «с геофизикой»—«без геофизики».

Базисный вариант («без геофизики») требует сгущения сети буровых скважин до размеров, обеспечивающих выявление рудных тел определенных размеров. Эти дополнительные затраты на сгущение сети бурения и с учетом затрат на постановку геофизических исследований и будут представлять собою прибыль от внедрения геофизических методов разведки ( $P$ ):

$$P = \{n_2 H(C_d + E_n K_d) - [n_1 H(C_d + E_n K_d) + (C_{gf} + E_n K_{gf})]\} \cdot S, \quad (5)$$

где  $P$ —прибыль обеспечения внедрением геофизических исследований;

$C_d$  и  $K_d$ —стоимость бурения и капитальные вложения в буровую разведку, руб.;

$C_{gf}$  и  $K_{gf}$ —стоимость геофизических исследований и капитальные вложения в геофизическую разведку, руб.;

$n_2$ —число скважин при сгущении сети (базисный вариант);

$n_1$ —число скважин по варианту, предусматривающему применение геофизических методов;

$H$ —средняя глубина скважин, м.

$S$ —площадь исследований, единицы площади;

$E_n$ —отраслевой коэффициент экономической эффективности.

Экономическая эффективность внедрения геофизических методов определяется по формуле

$$E_{gf} = \frac{P}{(C_{gf} + E_n K_{gf}) \cdot S} \quad (6)$$

В качестве примера приведены расчеты экономической эффективности ревизионных геофизических работ на Кабанском месторождении медноколчеданных руд и геофизических исследований методом РВП на Турьинских медных рудниках.

Геофизические исследования в скважинах позволяют повысить достоверность разведки рудных месторождений и точность подсчета запасов руд. Методы подземной геофизики: МЭК, РВП, ДЭМПС и магниторазведки—уточняют места выклинивания и подсчетные контуры рудных тел. Как видно из таблицы, геофизические данные значительно повышают достоверность определения размеров по простирацию и падению рудных тел. Каротажные работы уточняют мощность рудных подсечений, что имеет большое значение при подсчете запасов. Разработанные способы определения плотности пород и руд методами ослабления или рассеивания гамма-лучей [1] позволяют определять этот параметр в естественном залегании с погрешностью  $\pm 2-3\%$ .

Следует отметить, что при оценке геофизических методов опробования принимаются допуски ГКЗ для химических анализов без учета всего процесса опробования, включающего отбор, обработку и анализ проб. Это не совсем правильно, ибо складывается ошибочное мнение, что геофизическое опробование не вносит ничего нового в повышение достоверности определения содержания металла в рудах, за исключением экспрессности определений. В то же время геофизическое опробование безусловно повышает достоверность опробования руд в естественном залегании и значительно сокращает сроки его проведения.

В «Методических рекомендациях по определению экономической эффективности геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые» [2] достоверность разведки  $P(Q)$  не учитывается. Экономический эффект рекомендуется определять по формуле

$$n = \frac{(Ц - С)Q \cdot И}{n} \quad (7)$$

где  $Q$ —прирост разведанных запасов, т;  
 $Ц$ —цена 1 т товарной продукции, руб.;  
 $С$ —себестоимость 1 т товарной продукции, руб.;  
 $И$ —коэффициент сквозного извлечения от запасов;  
 $n$ —обеспеченность разведанными запасами, годы.

За достоверность определения количественных параметров, входящих в подсчет запасов, примем величину, полярную относительно погрешности, понимая под достоверностью вероятность соответствия вычисленного среднего значения его истинному.

Достоверность определения запасов может быть определена по следующим соотношениям:

$$P(Q) = 1 - (\Delta V + \Delta C + \Delta g); \quad (8)$$

$$P(V) = 1 - (\Delta l + \Delta h + \Delta m), \quad (9)$$

где  $\Delta V$ ,  $\Delta C$ ,  $\Delta g$ ,  $\Delta l$ ,  $\Delta h$  и  $\Delta m$  относительные погрешности параметров рудных тел (объема, среднего содержания, объемного веса, горизонтальной и вертикальной протяженности и мощности).

Разность достоверностей данных, определенных по геологическим и геофизическим исследованиям, и будет составлять цену геофизической информации при разведке месторождений полезных ископаемых и подсчете запасов руд.

Достоверность разведки через коэффициент  $P(Q)$  в формуле (7) расчета среднегодовой прибыли позволит установить экономическую эффективность геофизических методов разведки по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{гф}} = \frac{\Delta n}{Z_{\text{гф}}(1+0,08)^t}, \quad (10)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{гф}}$ —экономическая эффективность геофизических исследований, руб.;

$\Delta n$ —прирост среднегодовой прибыли от эксплуатации разведанных запасов за счет увеличения достоверности разведки, руб.;

$\frac{1}{(1+0,08)^t}$ —коэффициент, учитывающий фактор времени;

$Z_{\text{гф}}$ —затраты на геофизические исследования, руб.

Прирост среднегодовой прибыли  $\Delta n$  определяется как

$$\Delta n = \Delta P(Q) = \frac{(\Pi - C) \cdot Q \cdot I}{n} \cdot \Delta P(Q), \quad (11)$$

где  $\Delta P(Q)$ —изменение достоверности подсчета запасов с применением геофизических методов разведки.

Представляется интересным более широкое опробование этой методики в разных горно-геологических условиях.

Некоторые параметры месторождений и достоверность их определения по геологическим и геофизическим данным

Наименование месторождения	Размеры тел, м		Размер разведочной сети, м	Предельная относительная погрешность		Погрешность выклики по геофизическим данным, м	Относительная погрешность	
	по падению	по простиранию		по падению	по простиранию		по падению	по простиранию
Красногвардейское	400	250	30×30	0,031	0,10	5	0,0125	0,025
	250	70	50×50	0,05	0,38	10	0,02	0,014
				0,06	0,20		0,025	0,08
Рудник имени III Интернационала	316	220	35×35	0,06	0,16	5	0,16	0,045
	86	76	50×50	0,21	0,46	10	0,58	0,13
				0,08	0,22		0,032	0,09
Лёвихинское	170	300	30×30	0,09	0,12	5	0,029	0,033
	68	77	50×50	0,22	0,45	10	0,073	0,13
				0,15	0,17		0,059	0,066
Пьянко-Ломовское			30×30	0,14	0,28	5	0,046	0,092
	110	110	50×50	0,32	0,82	10	0,11	0,28
				0,22	0,44		0,092	0,184
Гумёшевское	500	500	30×30	0,03	0,06	5	0,01	0,02
	73	36	50×50	0,21	0,83	10	0,066	0,28
				0,05	0,10		0,02	0,04
			0,34	1,39		0,132	0,56	

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арцыбашев В. А. Ядерно-геофизическая разведка. М., Атомиздат, 1972.
2. Методические рекомендации по определению экономической эффективности геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые. М., Изд. ВИЭМС, 1973.
3. Минц Л. Е. Опыт применения корреляции при изучении экономической эффективности геофизических методов разведки нефти.—В кн. «Вопросы экономики, планирования и статистики». М., Изд. АН СССР, 1957.
4. Стенин Л. А. Об определении экономической эффективности геофизических методов разведки. М., Изд. ВИЭМС, 1970.
5. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве СССР. М., Госпланиздат, 1960.
6. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. М., «Правда», 1969.

## II. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ

А. А. МУХАМЕТШИН, А. Н. БАХВАЛОВ

(Институт геофизики УНЦ АН СССР)

### ПОДЗЕМНАЯ МАГНИТОРАЗВЕДКА

Широко известен и успешно применяется высокоэффективный метод скважинной магниторазведки с использованием аппаратуры: ТСМ—3, ТСМ—3М, КМК—3, КМК—4, ТСМК—40, ТСМК—30 и КСМ—38. Геологические задачи этим методом решаются по наблюдениям поля в скважинах наземного бурения.

Однако отсутствие специальной аппаратуры затрудняет проведение работ в скважинах подземного бурения и в горных выработках.

Институтом геофизики Уральского научного центра АН СССР с 1968 г. ведется разработка аппаратуры для проведения магниторазведочных работ в условиях действующих горнодобывающих предприятий.

В лаборатории скважинной магнитометрии на базе известного скважинного магнитометра КСМ—3М был разработан комплексный шахтно-скважинный магнитометр КШСМ—38, предназначенный для непрерывного измерения трех компонент вектора геомагнитного поля в ортогональной системе координат  $H_z, H_x, H_y$  по выработкам и в скважинах подземного бурения с углом наклона в пределах  $\pm 5 \div 175^\circ$  от вертикали. Прибор позволяет также выполнять непрерывные измерения магнитной восприимчивости  $\chi$  горных пород, вскрытых скважинами.

1. Диаметр измерительного блока (скважинного снаряда) составляет 38 мм, длина около 1700 мм. Корпус снаряда выдерживает гидростатическое давление до 200—250 атм.

2. Вес комплекта аппаратуры, включающего один измерительный пульт, один снаряд и источник питания, составляет не более 17 кг.

3. Для регистрации результатов измерений на диаграммную ленту магнитометр может быть подключен на высокоомный вход любого каротажного регистратора типа АЭКС или Н—361.

4. Погрешность отсчета по шкале магнитометра составляет  $\pm 200$  гамм, а при записи на диаграмму, например с помощью Н—361, систематическая относительная погрешность не превышает  $\pm 4,5\%$  на всю ширину ленты.

5. Диапазон измеряемых величин составляет по полю  $\pm 200\,000$  гамм, по магнитной восприимчивости до  $200\,000 \cdot 10^{-6}$  ед. СГСМ.

6. Температурный диапазон нормальной работы прибора от  $-20$  до  $+50^\circ\text{C}$ . Температурный уход нуля-пункта по полю  $10 \gamma$  на 1, по магнитной восприимчивости до  $200 \cdot 10^{-6}$  ед. СГСМ на  $1^\circ\text{C}$ .

Для реализации возможностей нового магнитометра авторами

разработана соответствующая методика работ, заключающаяся в следующем:

а. При измерениях в подземных горных выработках вся аппаратура и вспомогательное оборудование располагаются на специальном немагнитном транспортном устройстве, составляя в сумме подземную магнитную станцию, которая может перемещаться по рельсам вдоль выработки. При этом снаряд (измерительный блок) может быть закреплен с помощью кронштейна в любой части поперечного сечения выработки. Перемещение станции синхронизировано с лентопротяжным механизмом регистратора и таким образом можно получать непрерывную запись измеряемой величины вдоль выработки. Скорость перемещения до 1500 м/час.

б. При измерениях в скважинах подземного бурения рекомендуется получать записи всех четырех измеряемых величин за две спуско-подъемные операции. Непрерывные измерения по скважинам, составляющим веер (от восходящих до нисходящих, с переходом через горизонтальное положение), выполняются с одной стоянки. Для этого используется обычное каротажное вспомогательное оборудование (блок-баланс, лебедка, регистратор и т. д.). Показано, что воспроизводимость осредненных записей, полученных при спуске и подъеме, находится в тех же пределах, что и воспроизводимость повторных записей.

Производительность работ с применением этой аппаратуры по сравнению с работами на базе серийной аппаратуры возрастает в два с лишним раза. Для перемещения снаряда в восстающих скважинах разработано специальное устройство.

Таким образом, получена возможность выполнять высокопроизводительные и с одинаковым качеством непрерывные измерения магнитного поля как в скважинах подземного бурения, так и в горных выработках.

Предложены способы интерпретации результатов измерений с целью решения следующих задач эксплуатационной разведки.

По результатам измерений магнитной восприимчивости, на основе корреляционной связи  $\gamma$  с процентным содержанием железа, проводится опробование либо по всей скважине, либо по отдельным интервалам.

В целях обнаружения и определения пространственного положения «слепых» рудных залежей рассчитаны и построены теоретические кривые  $Z_a$  и векторы  $T_a$  для линий наблюдения с различным наклоном и расположением двумерных тел. Применительно к субвертикальным и субгоризонтальным линиям наблюдения предложена классификация аномалий кривой  $Z_a$  и векторов  $T_a$  в разрезе и в плане. Качественно задача решается путем сравнения полученного результата измерений с расчетным.

Количественная интерпретация заключается в оценке расстояния до ближайшего края рудного тела и осуществляется на базе найденных для данного месторождения статистических связей между интенсивностью аномалий модуля вектора  $T$  и искомым расстоянием, которые отстраиваются в виде палетки. При этом среднеквадратичная погрешность определения расстояния до ближайшей кромки рудного тела, на примере Абаканского рудника, составляет  $\pm 2 \div 3$  м, что позволяет отстраивать контур ближайшей части рудного тела вдоль линии наблюдения с требуемой детальностью.

Для определения элементов залегания и уточнения контуров рудного тела используются вышеописанные способы качественной и количественной интерпретации.

Как известно, в подземных условиях наблюдаемые аномалии поля нередко являются суммой влияний двух и более возмущающих объектов. С целью упрощения последующей интерпретации предложена программа отделения суммарного поля от двух тел, расположенных по разные стороны от линии наблюдения. Программа составлена для ЭВМ типа М—220 и БЭСМ—6.

Разработанные аппаратура и методика работ по шахтно-скважинной магниторазведке опробованы на различных месторождениях.

1. На Абаканском железном руднике аппаратура прошла промышленные испытания в течение одного года и впервые была внедрена в производство. Шахтно-скважинная магниторазведка решает на этом руднике все указанные выше геологические задачи детальной и эксплуатационной разведки.

2. На рудниках Криворожского железорудного бассейна (шахты: Октябрьская, им. М. В. Фрунзе, им. В. И. Ленина и др.) показано, что шахтно-скважинная магниторазведка может решать все указанные выше задачи, а также задачу выделения неокисленных разновидностей магнетитсодержащих руд в залежи окисленных, немагнитных.

3. На слабомагнитном Гумешевском медно-скарновом месторождении шахтно-скважинная магниторазведка опробовалась с целью выяснения предельных возможностей метода при отсутствии помех. Показано, что можно решать следующие задачи:

а) поиск и обнаружение в околоскважинном пространстве слабомагнитных объектов;

б) определение элементов залегания и контуров скарновых зон, вскрытых скважиной.

В 1973 г. разработанная аппаратура была принята Ведомственной комиссией МЧМ СССР, которая, отметив некоторые недостатки, признала прибор КШСМ—38 первым в СССР магнитометром, предназначенным специально для шахтных условий, а метод шахтно-скважинной магниторазведки с применением этого прибора рекомендовала к широкому внедрению на горнодобывающих предприятиях министерства.

По результатам опробования аппаратуры и методики работ было составлено краткое методическое руководство по шахтно-скважинной магниторазведке.

Экономический эффект от применения одного прибора в сравнении с аппаратурой ТСМК—40 составляет до 27 тыс. руб. в год (по данным ЦГЭ ЗСГУ от 30.1X.73 г.).

Л. С. ПРИЦКЕР, Ю. А. БУТУЗОВ, З. Е. СЛУЧАНКО, В. И. ШАДХИН,  
Р. С. ЧЕЛОКЬЯН, М. В. ЦАЛЮК, В. И. ПАСНИК

(КазВИРГ, ОКБ ГП УССР)

## МЕЖСКВАЖИННОЕ ПРОЗВУЧИВАНИЕ ПРИ РАЗВЕДКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

При поисках и разведке глубокозалегающих рудных месторождений одно из ведущих мест отводится подземной геофизике. Однако в настоящее время комплекс геофизических исследований довольно ограничен и включает в себя в основном электрические, магнитные и ядерные методы. Постановка в скважинном варианте гравиразведки и сейсморазведки задерживается из-за сложности создания малогабаритной аппаратуры, размеры которой ограничивает диаметр буровых скважин. Так, до недавнего времени не удавалось создать скважинный излучатель упругих колебаний в сейсмическом или акустическом диапазоне частот, достаточно мощный, чтобы можно было регистрировать излучаемые им упругие волны на расстояниях порядка первых сотен метров.

Между тем использование сейсмоакустических методов может существенно повысить эффективность геолого-геофизических работ на стадии поисков и разведки в тех рудных районах, где применение радиопросвечивания или скважинной магниторазведки нецелесообразно из-за недостаточной дифференциации разреза по электрическим и магнитным свойствам.

На эндогенных рудных месторождениях существует достаточно четкое различие в плотностных, упругих и тесно связанных с ними звукопоглощающих свойствах руд и рудовмещающих горных пород. Приуроченность большинства рудных залежей к тектонически ослабленным, интенсивно раздробленным, подвергшимся гидротермальной и метаморфической проработке зонам позволяет предполагать наличие пониженных упругих и повышенных звукопоглощающих свойств рудоносного участка в сравнении со вмещающими, не затронутыми процессом рудообразования породами.

На основе рассмотрения особенностей упругих характеристик трех минеральных групп (породообразующих окислов, рудных окислов, сульфидов) в зависимости от их кристаллохимического строения можно сделать следующие выводы:

1) у породообразующих окислов ионный характер связей частиц в кристаллической решетке преобладает над ковалентным. Упругие характеристики окислов в значительной мере определяются размером катиона металла и не зависят от структуры кристалла и валентности. Характерна прямолинейная зависимость скорости упругих волн от плотности;

2) у рудных окислов, в сравнении с породообразующими, связи между частицами в кристаллической решетке ослаблены за счет увеличения инерционности системы и доли металлической связи. Упругие

свойства их соответственно понижены: наблюдается обратная зависимость скоростей продольных волн от плотности;

3) в сульфидах имеет место дальнейшее ослабление связей. Наблюдается прямая зависимость упругих параметров сульфидов от энергии их атомизации и обратная зависимость скорости распространения звука от плотности.

Установлено, что хромитовые, медно-колчеданные, полиметаллические, магнетитовые и мартитовые железные руды обладают значительно более низкой звукопроводимостью, чем вмещающие их горные породы. Так, например, коэффициент звукозатухания хромитовых руд месторождения «40 лет Казахской ССР» составляет 0,07—0,08 дб/м при прозвучивании их тональным сигналом на частоте 3,6 кгц. У медноколчеданных руд этот коэффициент еще выше и достигает 0,10—0,12 дб/м на той же частоте. В то же время коэффициент звукозатухания  $A_y$  вмещающих горных пород составляет всего 0,02—0,04 дб/м. Еще более резко выражена дифференциация звукопоглощающих свойств магнетитовых железных руд и вмещающих их диоритов. На Алешинском месторождении (Северный Казахстан) коэффициенты звукозатухания руд и вмещающих их пород отличаются в 8—10 раз.

Можно считать, что повышенное затухание звука в рудах при межскважинном прозвучивании в значительной мере определяется повышенной по сравнению с вмещающими породами реактивной составляющей полного акустического импеданса инерциального (медноколчеданные, массивные хромитовые руды, магнетиты) или упругого характера (рыхлые хромитовые руды, зоны трещиноватости).

Аналитическая зависимость между коэффициентом звукозатухания  $\alpha$  и скоростью распространения продольных волн  $v$  в однородных горных породах в сейсмоакустическом диапазоне частот имеет вид

$$\alpha = \frac{\Omega}{v} \cdot \frac{E_2}{2E_1},$$

где  $\Omega$  — круговая частота;  $E_1$  — действительная часть модуля Юнга;  $E_2$  — мнимая часть модуля Юнга.

Повышенное затухание звука в рудах и зонах дробления, трещиноватости и т. п. позволяет использовать межскважинное прозвучивание при решении широкого круга геологических задач и в частности осуществлять:

- 1) поиск и разведку слепых рудных тел;
- 2) оконтуривание выклинивающихся тел;
- 3) корреляцию рудных подсечений, встреченных скважинами;
- 4) обнаружение и оконтуривание зон трещиноватостей, разрывных нарушений и карста;
- 5) обнаружение таликов и линз погребенного льда;
- 6) определение нижних границ рыхлых толщ и коры выветривания;
- 7) измерение коэффициента  $\alpha$  горных пород с целью расчленения литологического разреза.

Межскважинное прозвучивание для решения различных геологических задач осуществляется при погружении излучающего и принимающего звук скважинных приборов в две разные скважины. Излученные в одной скважине источником звука (гармоническим вибратором) упругие колебания фиксированной частоты распространяются в массиве горных пород и достигают второй скважины, в которой располагается звукоприемник. Принятые звукоприемником упругие коле-

бания преобразуются в электрические, передаются по кабелю на поверхность, где осуществляются регистрация и анализ амплитуд звукового давления в точке приема.

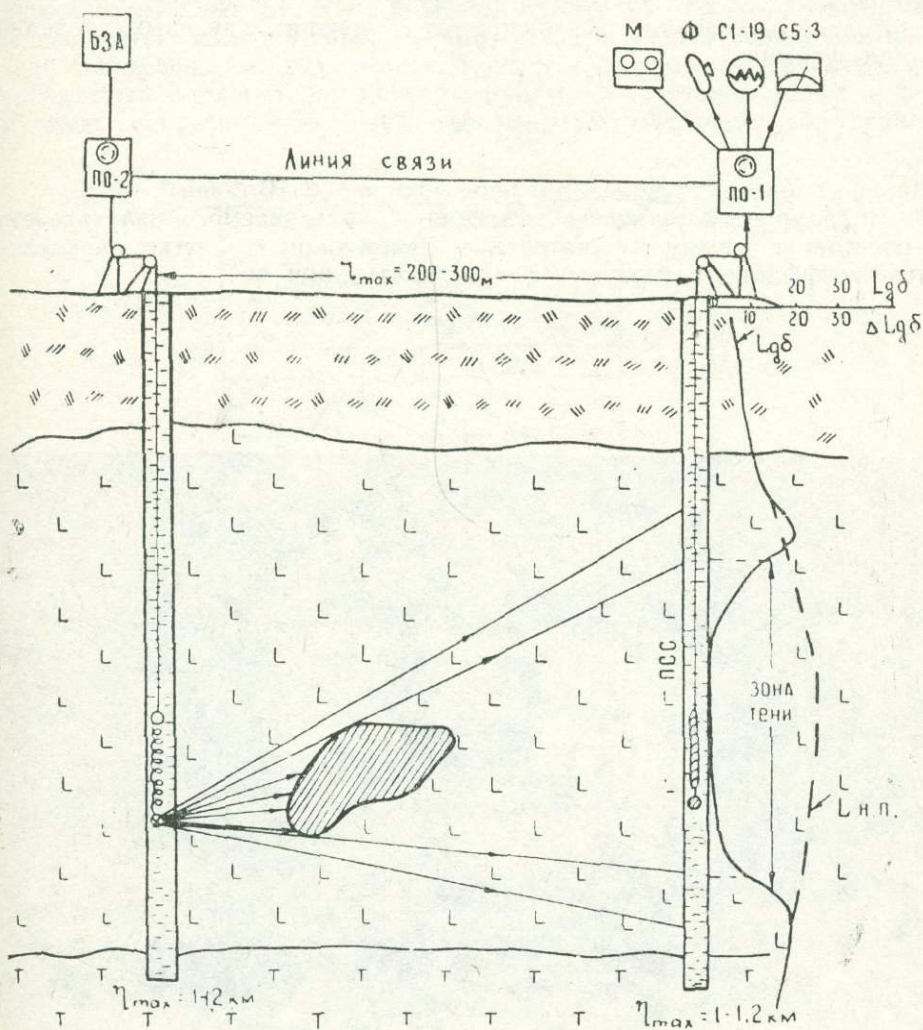


Рис. 1. Межскважинное акустическое прозвучивание с аппаратурой МО—1

Межскважинное прозвучивание осуществляется по двум схемам наблюдений: при синхронном перемещении излучающего и приемного снарядов или при веерной съемке, когда один из скважинных снарядов устанавливается на фиксированной глубине, а другой—перемещается. При наличии в межскважинном пространстве звукопоглощающих геоакустических неоднородностей регистрируемый сигнал ослабляется, возникает так называемая акустическая тень, по местоположению и форме которой можно судить о местоположении и форме обуславливающей ее неоднородности (рис. 1).

\* Аналогично методу РВП такие наблюдения можно проводить также в одиночных выработках и скважинах. (Прим. ред.).

Излучение, прием и регистрация упругих колебаний при межскважинном прозвучании на тональном сигнале фиксированной звуковой частоты (2—4 кгц) осуществляется при помощи разработанной КазВИРГом и ОКБ ГП УССР аппаратуры МП—1, позволяющей измерять амплитуду звукового давления  $P$  с точностью  $\pm 2-3$  дБ. Наблюдаемые значения  $P$  приводятся к уровням звуковых давлений  $L$  по формуле

$$L = 20 \lg \frac{P}{P_0} \text{ (дБ)},$$

где  $P_0$ —опорное звуковое давление, равное  $2 \cdot 10^{-5}$  н/м<sup>2</sup>.

Зная уровень звукового давления  $L_0$ , развиваемого излучателем, и расстояние между излучателем и приемником  $r$ , легко определяется коэффициент кажущегося звукозатухания  $\alpha_k$

$$\alpha_k = \frac{L_0 - L - 20 \lg r}{8,68 r}.$$

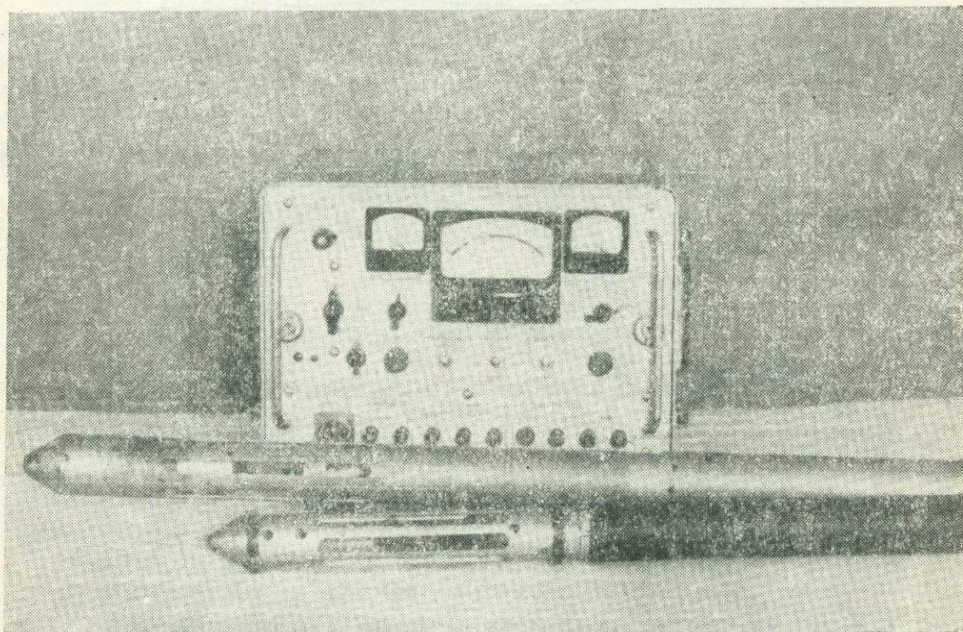


Рис. 2. Общий вид аппаратуры МП—1.

Для однородных сред коэффициент  $\alpha_k$  тождествен истинному коэффициенту звукозатухания  $\alpha$ . Аппаратура МП—1 (рис. 2) сконструирована в виде стандартного блока серийной каротажной станции типа АЭКС—1500 и набора скважинных снарядов (приемников и излучателей звука на частотах 2 и 4 кгц). Производительность аппаратуры от 60—120 до 1000 м/час. МП—1 обеспечивает работу в скважинах глубиной до 1000 м, диаметром не менее 59 мм при расстоянии между скважинами до 200—300 м.

Проведение межскважинного прозвучивания в Казахстане и на

Южном Урале показало высокую эффективность метода при разведке хромитовых, медноколчеданных и магнетитовых месторождений. Полевыми работами Казахского филиала ВИРГ 1972—1974 гг. установлено, что при межскважинном прозвучивании при расстояниях между скважинами от 40 до 200—300 м на частотах 1,7—3,6 кгц рудные тела фиксируются исключительно четкими акустическими тенями. Ширина тени на уровне 1/2 максимальной амплитуды сигнала характеризует габаритный размер тела. Контуры рудных тел устанавливаются либо лучевым способом—по общей для нескольких теневых зон границе

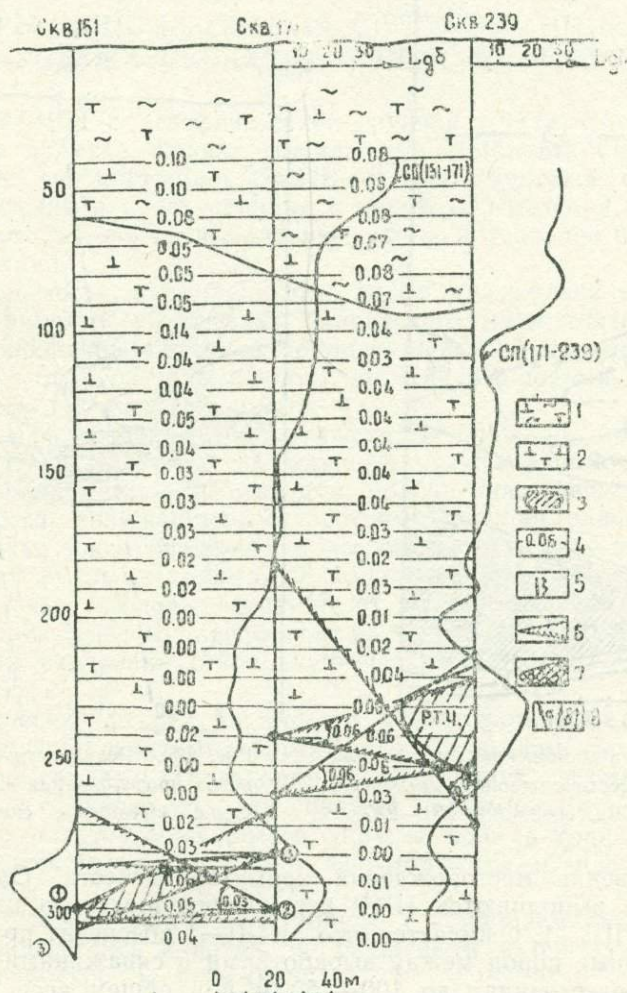


Рис. 3а. Результаты межскважинного прозвучивания на месторождении «40 лет Казахской ССР», скважины 157—171—239

1—гипергенно-измененные серпентиниты; 2—серпентиниты по дуниту и перидотиту; 3—хромитовые руды; 4—коэффициенты звукопоглощения  $\alpha$ ; 5—кривые  $\Delta L$  при синхронной и веерной съемке; 6—зоны акустической тени (звукопоглощение  $\alpha_k \geq 0,06 \text{ дБ/м}$ ); 7—медноколчеданные руды; 8—  
а) скважины, между которыми осуществлено прозвучивание, б) прозвучивание скважины.

(рис. 3, а), либо по изолиниям коэффициента звукозатухания (рис. 3, б, в).

Один из опытно-методических образцов аппаратуры МП—1 передан ЗКТГУ и в настоящее время успешно используется при предвари-

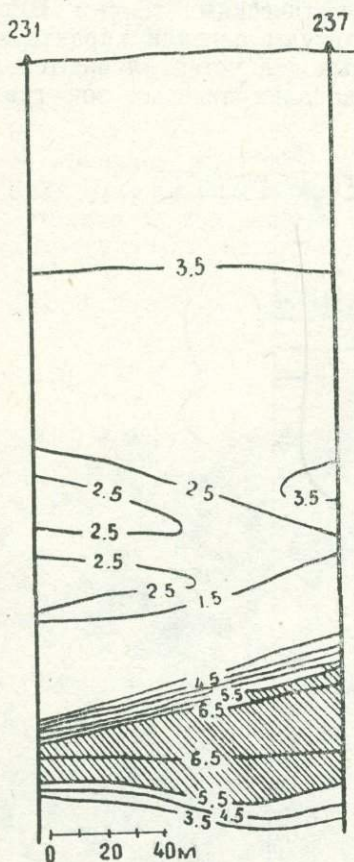


Рис. 3б. Результаты межскважинного прозвучивания на месторождении «40 лет Казахской ССР», скважины 231—237.

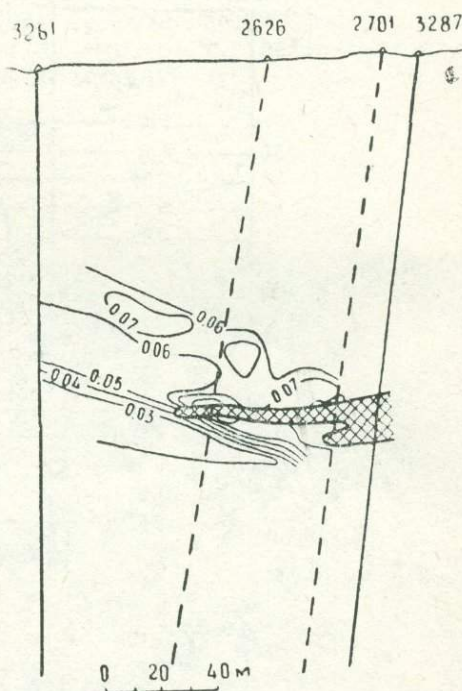


Рис. 3в. Результаты межскважинного прозвучивания на месторождении «Осеннее», скв. 3261—3287.

тельной разведке месторождений хромитов, асбеста. Одновременно в КазВИРГе выполняются НИР переносного шахтного варианта аппаратуры МПШ—1. Ожидается, что МПШ—1 обеспечит прозвучивание массивов горных пород между выработками и скважинами подземного бурения на расстояниях до 100—150 м при общем весе аппаратуры не более 50—60 кг.

В. Ф. ЛЕБЕДЕВ, В. А. КНЯЗЕВ, Н. К. СТРЕЛОВ

(Трест «Сибцветметавтоматика»)

## ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЙСМОСТАНЦИИ СМПВ—2 ДЛУ КАРОТАЖА СКВАЖИН И СЕЙСМОПРОЗВУЧИВАНИЯ

В 1973—1974 гг. геофизической группой треста «Сибцветметавтоматика» на руднике «Маяк» Норильского комбината было проведено опробование сейсмостанции СМПВ—2 для каротажа скважин подземного бурения и прозвучивания с целью определения возможностей сейсмического метода по выделению рудных интервалов в скважинах и их корреляции.

Необходимость постановки этих работ обусловлена тем, что электрический каротаж в условиях Талнахского месторождения не всегда дает однозначный ответ о природе аномалий проводимости. Аномалии могут быть связаны как с рудой, так и с зонами графитизации и углистыми аргиллитами.

Кроме того наличие тонких сульфидных прожилок между рудными телами не позволяет вести их корреляцию электрическими методами. В то же время зоны графитизации, обводнения, трещиноватости характеризуются пониженными скоростями распространения упругих волн, а тонкие токопроводящие жилы, осуществляющие электрическую связь между рудными телами, не канализируют сейсмические волны.

Аналогичные условия существуют на многих эксплуатируемых месторождениях, поэтому представленные здесь материалы могут быть полезны при внедрении сейсмоакустических методов на горнорудных предприятиях.

Геологический разрез на участке исследований представлен габбро-диабазами, долеритами, роговиками, углистыми аргиллитами и сульфидными рудами (халькопирит, пентландит, пирротин).

Каротаж проведен по ряду скважин подземного бурения с целью определения пластовых скоростей упругих волн в горных породах и рудах Талнахского месторождения и возможности выделения руд в разрезе скважин.

Был изготовлен макет скважинного сейсмоприемника, с помощью которого проводились каротаж по скважинам и прозвучивание пород между выработкой и скважиной.

При каротаже пункт удара располагался у устья скважины, а скважинный сейсмоприемник перемещался по ней. Производилось измерение времен прихода сейсмволн от пункта удара до приемника. По полученным разностям времени и глубин определялись пластовые скорости распространения упругих волн по формуле

$$V_{пл} = \frac{\Delta h}{t_2 - t_1} \text{ м/сек,}$$

где  $t_1$ —время прихода волны в точку на глубину  $h_1$ ;  $t_2$ —время прихода волны в точку на глубину  $h_2$ ;  $\Delta h$ —разность глубин ( $h_2 - h_1$ ).

Шаг наблюдений по скважине был принят равным 0,5—1,0 м. На рис. 1 приведены результаты сейсмокаротажа по скважинам К—429 и К—455 бис. Обе скважины заполнены водой, что позволяло проводить работы без прижимных устройств.

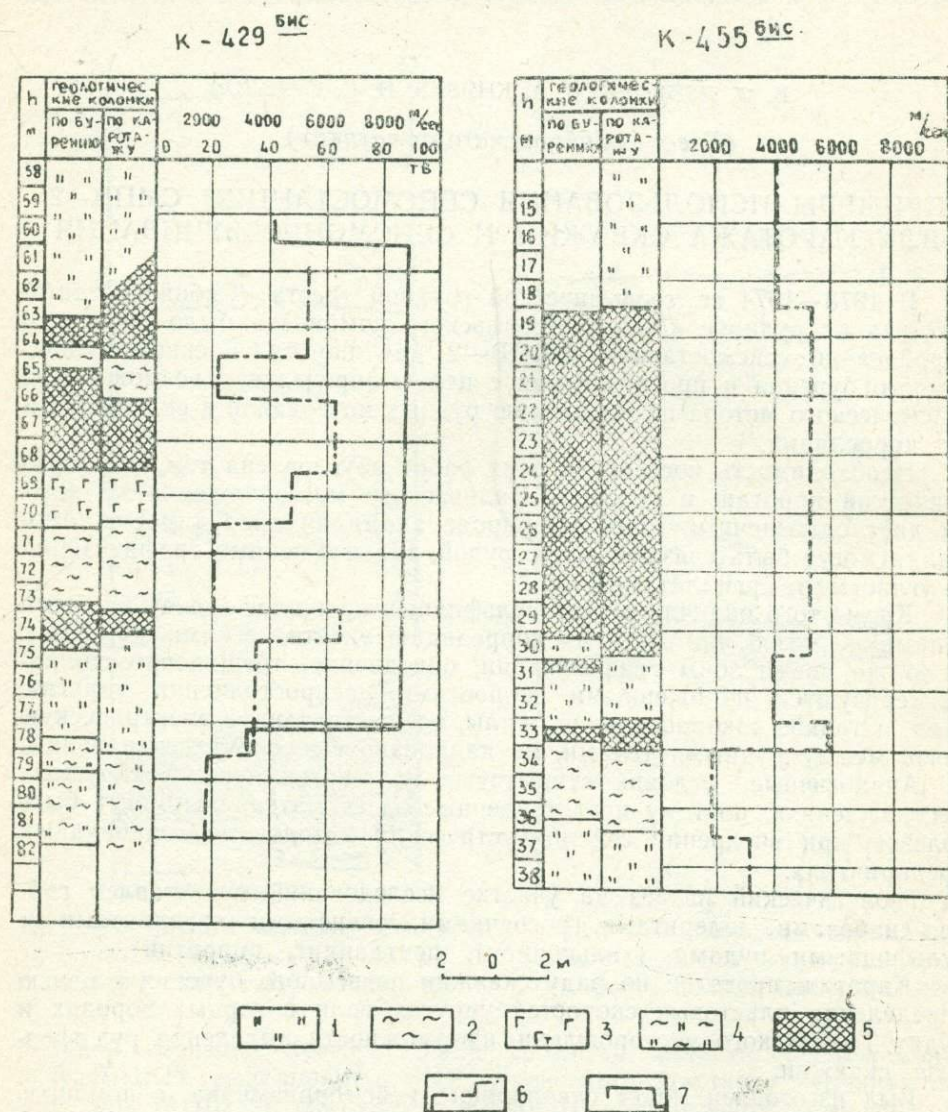


Рис. 1. Результаты наблюдений по скважинам К—429 бис и К—455 бис. 1—роговики; 2—углистые аргиллиты; 3—габбро; 4—ороговикованные алевролиты; 5—рудные тела; 6—графики сейсмического каротажа; 7—график электрического каротажа (МСК).

Было установлено наличие довольно четкой дифференциации пород магматического, метаморфического, осадочного комплексов пород и руд по скоростям распространения упругих волн.

Магматические породы, представленные габбро, долеритами, характеризуются скоростями 4000—4500 м/сек. В зависимости от наличия рудной вкрапленности скорость может быть повышена. Роговики

характеризуются более низкими скоростями: 3200—3500 м/сек, достигая иногда 4000 м/сек и более (также в зависимости от количества рудных минералов в породе).

Осадочные породы представлены углистыми аргиллитами, имеющими низкие электрические сопротивления, что затрудняет разбраковку аномалий при электрокаротаже. Пластовые скорости аргиллитов лежат в пределах 1800—2200 м/сек, а рудных тел—5000—6000 м/сек. Следовательно, с помощью сейсмокаротажа можно вести разбраковку аномалий проводимости.

Некоторое несоответствие контактов пород и руд по данным сейсмокаротажа и бурения скорее всего связано с недостаточной детальностью геофизических наблюдений.\*

Наблюдения проводились в периоды минимального уровня сейсмических помех (выходные дни, перерывы между сменами и т. п.).

Сеймопрозвучивание проведено между выработкой и скважиной К—267. Пункт удара располагался в выработке на выходе рудного тела, а скважинный сейсмоприемник перемещался по скважине. Определялось время прохождения волны от пункта удара до точки приема. По известному расстоянию и времени прохождения волны определялась скорость ее распространения.

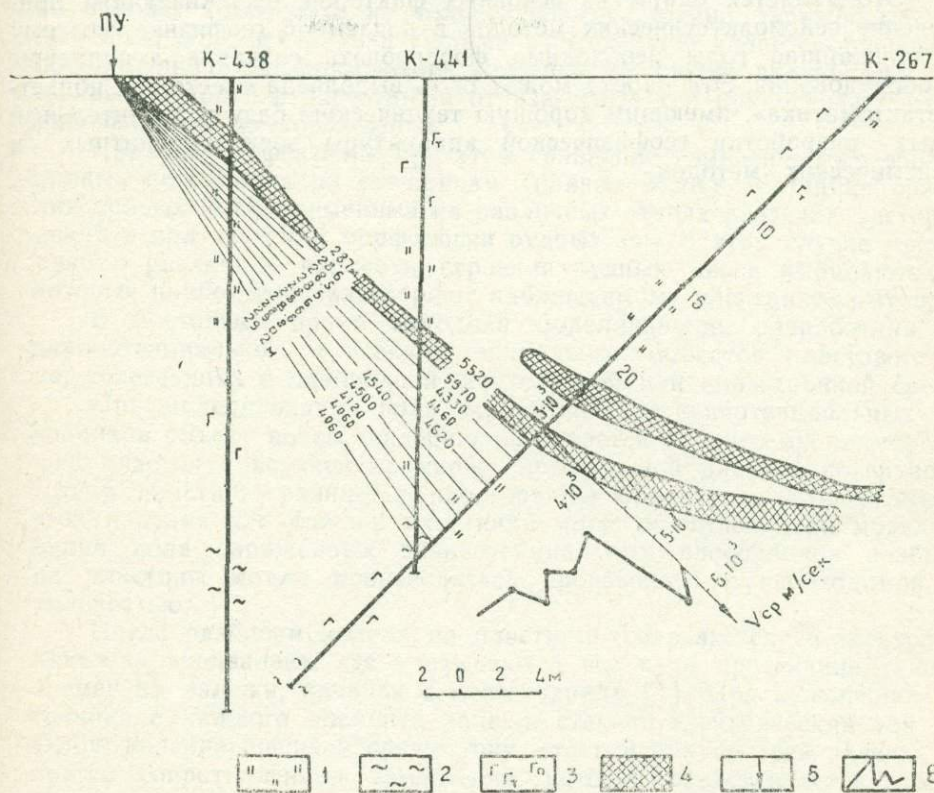


Рис. 2. Геологический разрез по скважинам колонкового бурения 436—441—267 с результатами сейсмической корреляции (аппаратура СМПВ—2).  
1—роговики; 2—углистые аргиллиты; 3—габбро-диабазы; 4—сульфидные рудные тела; 5—пункт удара; 6—график средней скорости.

\* А может быть и ошибками геологической документации за счет неточного выхода керна. (Прим. ред.).

Результаты прозвучивания приведены на рис. 2. Исследуемый участок представлен роговиками, габбро-диабазами и сульфидными рудными телами. Вмещающие породы характеризуются скоростями 4000—4500 м/сек. Увеличение скорости в роговиках приконтактной зоны связано с рудным телом, по которому распространение волны идет со значительно большей скоростью и достигает величины 5500—6000 м/сек, что хорошо согласуется с данными каротажа.

Проведенные исследования показали перспективность сейсмического каротажа и прозвучивания по выделению рудных интервалов в разрезе скважин и корреляции рудных тел между ними.

В условиях, когда проведение электрического каротажа и электрорреляции затруднено из-за наличия зон проводимости нерудного происхождения (графитизация, зоны дробления, анизотропия по электрическим сопротивлениям), сейсмоакустический каротаж и прозвучивание могут оказать большую помощь при решении отдельных геологических задач.

Вместе с тем следует отметить, что специальной аппаратуры сейсмоакустических методов для исследований в скважинах подземного бурения, имеющих малый диаметр, не разработано. Нет и малогабаритных возбуждателей упругих колебаний.

Это является одним из основных факторов, сдерживающих применение сейсмоакустических методов в подземной геофизике, поэтому в ближайшие годы необходимо форсировать создание аппаратуры и оборудования. Эта работа может быть выполнена трестом «Сибцветметавтоматика», имеющим хорошую техническую базу и значительный опыт разработки геофизической аппаратуры электромагнитных и сейсмических методов.

В. С. МОИСЕЕВ

(СНИИГГ<sub>и</sub>МС Мингео СССР)

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МЕТОДЕ ЗАРЯДА

Наиболее крупные полиметаллические месторождения обладают компактной локализацией рудных тел в зонах гидротермально измененных пород. Они имеют благоприятные условия для сквозного протекания электрического тока по всей зоне рудоотложения при заряде в одном из рудных подсечений.

При проведении съемок на больших площадях в аномальном поле находят отражение не только непосредственно заряженные рудные тела, но и вся рудная система в целом. Это является физической предпосылкой для применения методики сравнения практически наблюдаемых полей с расчетными от известных тел при оценке перспектив флангов месторождений.

Наиболее эффективно при этом сравнение измеренных и расчетных кривых потенциала по скважинам (кривые МЭК). Методика сравнения кривых МЭК применима на различных этапах разведки месторождений и при изучении морфологии рудных зон. В этом случае моделируются различные варианты строения рудных зон и выбираются те, которые наиболее удовлетворяют наблюдаемому электрическому полю.

В настоящее время методика моделирования разработана для эквипотенциальных и неэквипотенциальных объектов пластового типа, залегающих в однородной, двухслойной или анизотропной средах.

При моделировании поля заряженных неэквипотенциальных проводников объект по его падению разбивается на систему прямоугольных пластин с верхней кромкой, параллельной дневной поверхности. Длина пластины равняется простирацию объекта, и этот размер и угол падения для каждой пластинки могут меняться. При моделировании поля заряженных эквипотенциальных проводников разбивка на пластины может производиться произвольно с необходимой детальностью.

После разбивки модели на пластины составляется ее электротехнический эквивалент, где учитываются все пути протекания тока по элементам залежи, начиная с места заряда [1]. При включенном источнике с каждого элемента залежи стекает электрический ток  $I_i$ . Сопротивление внешней среды току, стекающему со всей залежи, является сопротивлением заземления, которое представляется суммой параллельно соединенных сопротивлений  $R_i$ . Сопротивления прохождению тока непосредственно по элементам залежи  $r_i$  в эквиваленте включаются между  $R_i$  и  $R_{i+1}$ . Решение электротехнического эквивалента позволяет найти токи, стекающие с прямоугольных, однородно заряженных пластин. Поле, создаваемое объектом, вычисляется как сумма полей от этих пластин, находящихся в однородной или двухслойной среде по соответствующим формулам [2, 3].

Схема электротехнического эквивалента и ее решение нами рассматривались ранее [1], а за последнее время увеличена точность вычислений  $R_i$  и на основе сравнения результатов математического моделирования с данными экспериментов с неэквипотенциальными моделями в водяном баке доказана применимость электротехнического эквивалента для моделей с измеряющимся размером по простиранию. Кроме того отработана методика моделирования неэквипотенциальных объектов в двухслойной и анизотропной среде.

В процессе нахождения  $R_i$  в центрах элементарных прямоугольных пластин подсчитываются коэффициенты  $a_{ij}$  и  $b_{ij}$ , собственные и наведенные потенциалы от всех пластин и их зеркальных отображений, рассчитываемые по соответствующим формулам. Затем решается система уравнений  $\sum_{j=1}^n (a_{ij} + b_{ij}) I'_{ij} = V \text{const}$ . Решение системы дает токи  $I'_i$ , стекающие с каждой элементарной пластины при условии равенства условно заданного потенциала в их центрах. Эти токи (пропорциональные им и в сумме составляющие необходимый ток, стекающий с модели) используются при нахождении поля от эквипотенциальных моделей при соответствующей разбивке модели—обычно более детальной, чем для неэквипотенциальных моделей.

Для неэквипотенциальных моделей величина  $r_i$  каждого элемента находится по известной формуле и с учетом среднего поперечного сечения элемента залежи и определяется приближенно.

Сопоставление вычисленных и измеренных полей от неэквипотенциальных пластин с односторонними несимметричными, двухсторонними симметричными и несимметричными скосами свидетельствует в целом о высокой точности разработанной методики математического моделирования; для наиболее распространенных неэквипотенциальных моделей отличие расчетных полей от измеренных на небольшом удалении не превышает 7—10%.

Процесс составления моделей месторождений, выбор осредненных параметров разрезов и сам расчет поля не являются трудоемкими. Расчет поля от модели, составленной из 40 пластин, в 100 точках однородной среды на ЭВМ типа М—20 занимает около 10 мин, а для двухслойной среды в несколько раз больше.

К излагаемой схеме математического моделирования полей заряженных объектов сложной формы добавим, что оценка точности вычислений проводится путем сравнения величин потенциала на поверхности объекта при его разбивке на  $h$  и  $2h$  частей. При моделировании кривых МЭК по разрезам от сложных объектов, когда для полного отображения объекта необходимо большое количество пластин, замена рудных тел производится детально у того разреза, для которого производятся вычисления. Аппроксимация более удаленных разрезов производится с уменьшающейся детальностью.

При моделировании кривых МЭК для оценки перспектив месторождений вычисления необходимо осуществлять при условии эквипотенциальности модели, т. е. при самых благоприятных условиях для создания максимально возможного эффекта от заданного объекта. Для изучения морфологии рудных зон требуется учет удельного электрического сопротивления руды, особенно если моделируются кривые МЭК, находящиеся на значительном расстоянии от точки заряда.

Моделирование опробовано на четырех полиметаллических месторождениях Рудного Алтая. На одном из них моделирование полей заряда и кривых МЭК проводилось в два этапа. На первом этапе, когда были известны руды в небольшом количестве скважин, моделирова-

ние позволило объяснить кривые МЭК, снятые по скважинам с двумя рудными интервалами, на глубине 400 и 600 м разделенными вмещающими породами с удельным сопротивлением в сотни ом. На кривых МЭК, снятых по этим скважинам, области почти равных значений потенциала, приходились на весь интервал между рудными подсечениями, в то время как заряд в другой скважине помещался лишь в один из рудных интервалов. Объяснить такие кривые удалось исходя из поля модели пологих взаимосвязанных на глубине хорошо проводящих рудных зон, а не крутопадающих пластов. Кроме того по наличию гораздо меньшего рудного подсечения по сравнению с расчетными кривыми был сделан вывод о наличии на участке более глубокой рудной ветви. На втором этапе моделирование привлекалось, когда появились новые рудные подсечения и требовалось решать вопрос о принадлежности этих подсечений к той или иной рудной зоне.

На двух других месторождениях Рудного Алтая, одно из которых перекрыто рыхлыми отложениями до 100 м, практические и расчетные кривые МЭК аналогичны друг другу, что свидетельствует о правильной увязке рудных зон по разрезам. На четвертом месторождении из сравнения полей заряда следует, что на практическое поле большее влияние оказывают невыявленные тоководы. При этом сравнение расчетных и практических кривых МЭК с учетом анизотропии горных пород и мощности рыхлых отложений свидетельствует о глубинном характере невыявленного проводника.

В целом оперативное моделирование полей заряда от известных объектов с применением ЭВМ по излагаемой методике помогает при оценке перспектив месторождений на флангах и в глубину и при уточнении морфологии рудных зон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеев В. С. Метод заряда при разведке полиметаллических рудных полей Рудного Алтая. Методические рекомендации.—«Тр. СНИИГГиМС». Новосибирск, 1973.
2. Моисеев В. С., Петрушкин А. А., Паугова И. З. Поле заряженных хорошопроводящих объектов в двухслойной среде.—В кн. «Геофизические методы поисков и разведки месторождений рудных полезных ископаемых Сибири. Тр. СНИИГГиМС», вып. 215, Новосибирск, 1975.
3. Семенов А. С. Электрическое поле однородно заряженной прямоугольной пластинки.—В кн. «Геофизическая разведка рудных месторождений», М., Госгеолтехиздат, 1953.

Н. Р. БУРЬЯН

(Днепропетровский горный институт им. Артема)

## ОБ УЧЕТЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ВЛИЯНИЯ СТРУКТУР ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ РУДНЫХ АНОМАЛИЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Как показали опытные работы, гравитационные аномалии в горных выработках Кривбасса, принадлежащие рудным телам, проявляются на фоне очень сложного по облику поля, обусловленного влиянием всей Криворожской структуры. Следовательно, для выделения рудных аномалий необходимо вычестить эти помеху из наблюдаемого поля и получить разностную аномалию [1].

В этой связи возникают две задачи: как построить модель Криворожской структуры и каким аппаратом необходимо воспользоваться для вычисления ее гравитационного влияния в заданных точках пространства.

Геологическое строение Криворожской структуры весьма сложное [2]. За счет тектонической деятельности в пределах месторождения общая пластовая схема строения структуры является первым приближением. В действительности все пласты нарушены как дизъюнктивной, так и пликативной складчатостью. Вся структура разбита на многочисленные блоки самых разных размеров, смещенных друг относительно друга. В зонах крупных нарушений часто можно наблюдать резкое уменьшение мощности стратиграфических горизонтов, а подчас и полное их выклинивание. Все крупные складчатые структуры Криворожья осложнены более мелкой продольной и поперечной складчатостью. Сочетание складчатости двух направлений привело к образованию морфологически сложных типов складок.

Для получения гравитационного поля таких сложных структур необходимо было бы описать все их детали, подобрать соответствующий математический аппарат и решить прямую задачу. Такой подход требует большого объема геологических построений и расчетов. Нашей целью является найти пути упрощения решения задачи с требуемой для практики точностью.

Итак, на первом этапе решения задачи следует создать модель структуры. Для этой цели требуется использовать все известные геолого-геофизические факты о строении района и на том или ином руднике построить характерный для него общий геолого-геофизический разрез [1]. Учитывая, что на гравиметр сильное влияние оказывают близлежащие массы, в пределах исследуемых выработок, в общий разрез модели структуры вписывается реальный геологический разрез, построенный по буровым и горно-проходческим данным. Аномальные значения плотности элементов такого разреза следует брать относительно вмещающих всю структуру горных пород, т. е. гранитов и магматитов с плотностью  $2,6 \text{ г/см}^3$ . Реальный разрез, как было показано, следует учитывать до глубины  $\pm 500-700$  м относительно исследуемых горных выработок. Удаленные части структуры можно учесть, аппроксимируя их сравнительно простыми моделями, например,  $n$ -угольными призмами [1].

Значительные трудности встречаются при учете близкорасположенных к горным выработкам масс. В общем случае их следовало бы учитывать в трехмерном варианте. Однако нами установлено, что если элементы структуры представляют собой ограниченные, линейно-вытянутые по простиранию пластовидные тела и имеют протяженность не менее  $\pm 2000$  м (при вертикальной мощности  $\pm 500-700$  м), то их можно представить в виде двухмерных призм. Ошибка при этом составит 0,01 мгл. Этот вывод справедлив при горизонтальной мощности пласта до 100 м и аномальной плотности до  $1 \text{ г/см}^3$ .

Если протяженность пласта по простиранию меньше  $\pm 2000$  м, учет его гравитационного влияния следует выполнять в трехмерном варианте.

В условиях Кривбасса, как правило, простирание стратиграфических горизонтов непостоянно. Для оценки искажений  $\Delta g$  за этот счет был взят крайний случай, когда отдельный пласт при  $y=0$  изменяет заданное простирание и без изменения горизонтальной мощности при некотором  $y=y_1$  выходит на новое направление, параллельное исходному (рис. 1, б). Аппроксимировав зону изгиба пласта набором наклонных призм, вычислили от него поле  $\Delta g$  (рис. 1, а, кривая 1). Разность поля  $\Delta g$  от двухмерного линейного пласта и изогнутого показана на рис. 1, а (точка-пунктир, № 1). Как видно, абсолютные значения разности полей значительные. Максимальные отклонения составляют 0,16 мгл. Вдоль линии наблюдения отклонения имеют локальный характер.

На рис. 1, а показано значение поля  $\Delta g$  от двухмерного и изогнутого пластов с изменением их горизонтальной мощности. Как видно, с увеличением мощности пласта разность исследуемых полей растет. С удалением профиля наблюдений от зоны изгиба пласта в сторону его прямолинейной части уже при  $y \approx 200$  м поле  $\Delta g$  стремится к полю линейно-вытянутого бесконечного по простиранию пласта (рис. 1, в).

Из приведенного следует, что при слабо развитой пликативной и дизъюнктивной складчатости на отдельных исследуемых участках можно решить задачу в двухмерном варианте и получить поля с достаточной для практики точностью. Однако такие участки в условиях Кривбасса встречаются очень редко. В основном, это пласты вида, показанного на рис. 2, а (пунктир). Для оценки гравитационного влияния такого пласта и сравнения его поля с полем двухмерного пласта нами сделано допущение, что в вертикальной плоскости пласт наклонен под углом  $70^\circ$  и не был подвергнут каким-либо нарушениям. Кроме того, его можно разбить на 6 участков с более выдержанным простиранием и на этих участках аппроксимировать пластообразными телами с осредненными параметрами. Сечения пластов на выбранных участках показаны на рис. 2, б.

Из рис. 2, а следует, что если профиль наблюдений расположен по отношению пласта так, как показано на рисунке, то поле  $\Delta g$  от него ( $\sum_1^6 \Delta g$ ) значительно отличается от поля  $\Delta g^\infty$  над пластом бесконечного простирания (на рисунке такой пласт показан точка-пунктирной линией). Следовательно, учет влияния такого пласта в двухмерном варианте является только первым приближением.

Рассматривая влияние каждого отдельно взятого пласта, видим, что основную часть суммарного поля  $\sum_1^6 \Delta g$  составляет поле от 4-го участка. Все остальные создают более спокойные, небольшой интенсивности гравитационные аномалии, а поле от удаленных участков 1 и 6 составляет всего 0,005—0,01 мгл. Это дает право на удалении

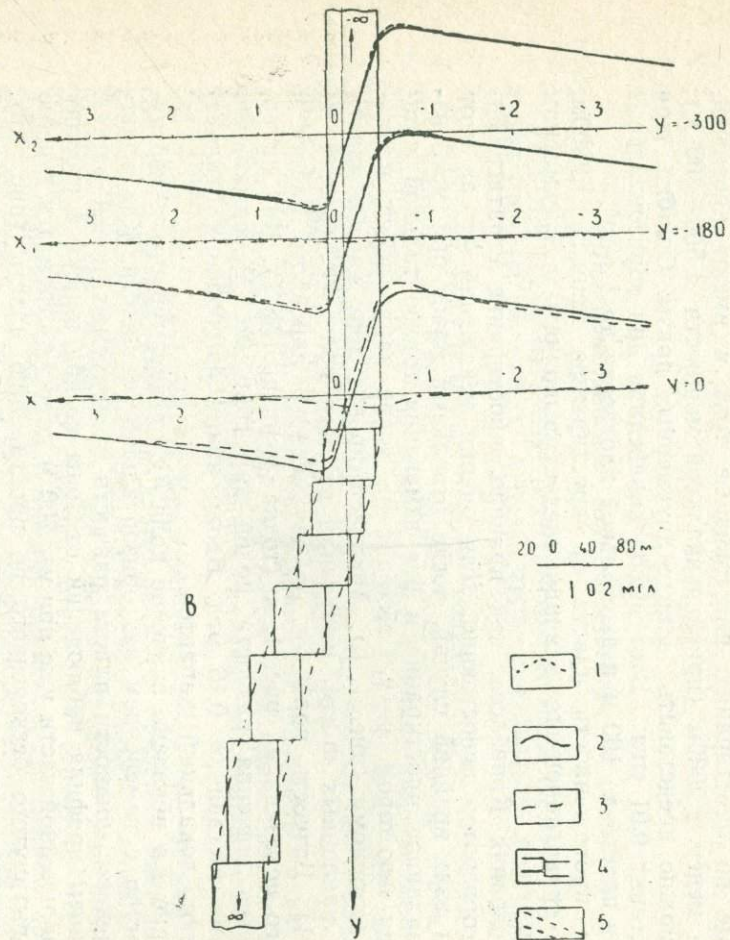
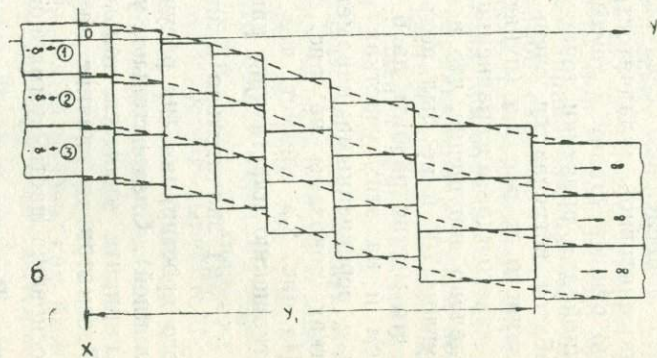
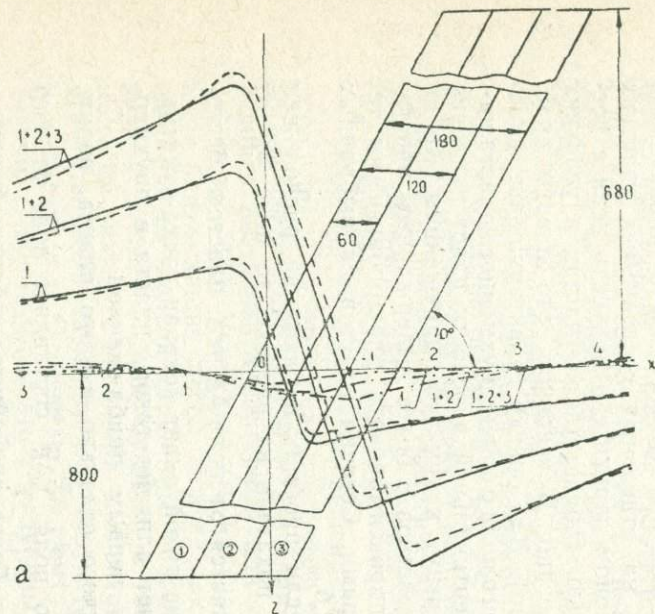


Рис. 1. Гравитационное поле от двухмерного пласта, меняющего простирание; а—кошвы  $\Delta g$  по оси  $x$ , б—горизонтальная проекция трехмерного пласта; в—кривые  $\Delta g$  по  $y$ :

1—аномалия  $\Delta g$  над трехмерным пластом; 2—аномалия  $\Delta g$  над двухмерным пластом; 3—разность аномалий  $\Delta g$  над двух- и трехмерным пластами; 4—контур модели трехмерного пласта; 5—контур фактического трехмерного пласта.

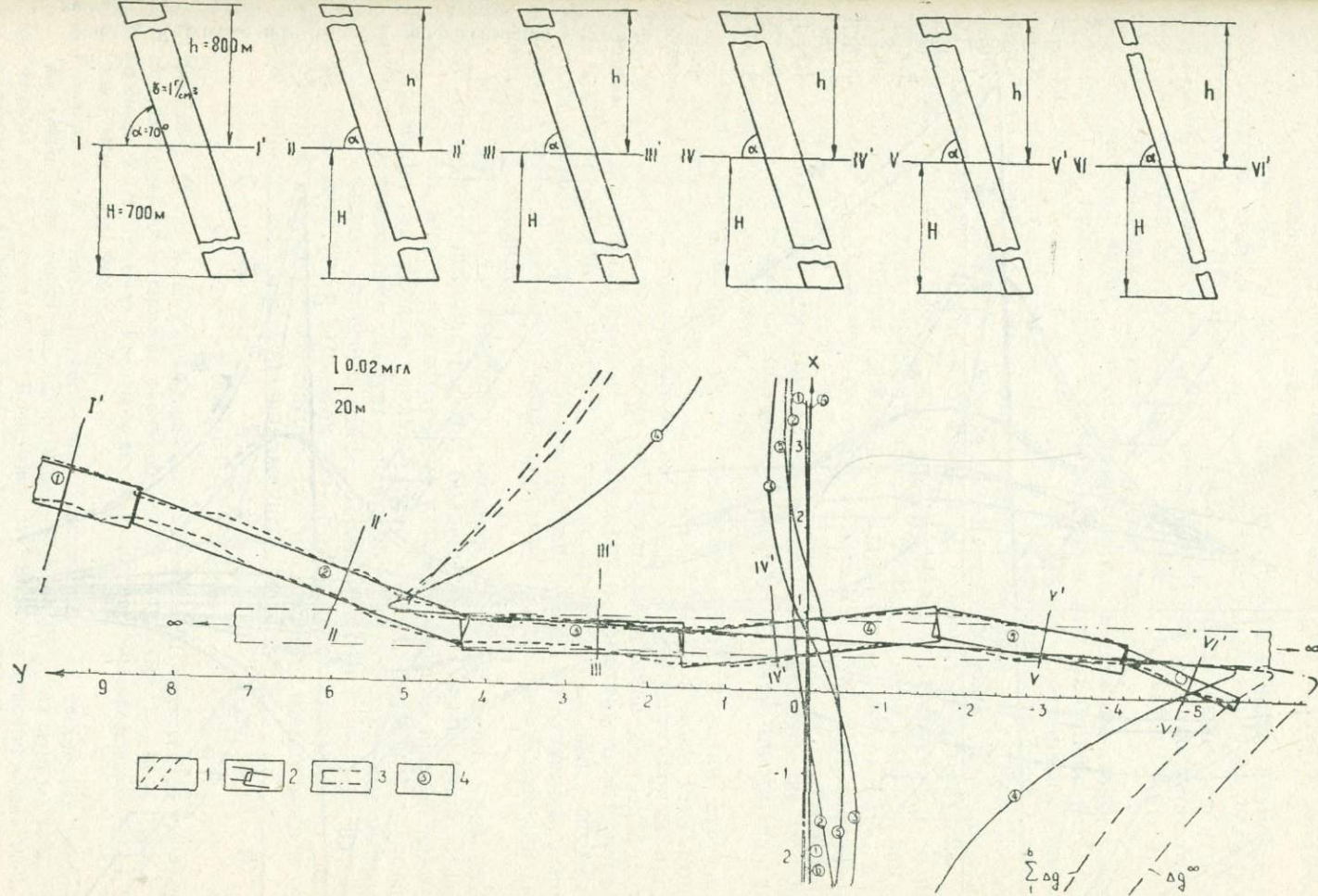


Рис. 2. Гравитационное поле над реальным пластовым телом. 1—контакты фактического пластового трехмерного тела; 2—контакты трехмерной модели пластового тела; 3—контакты двухмерной модели пластового тела; 4—номер элемента модели пластового тела и соответствующей ему кривой  $\Delta g$ .

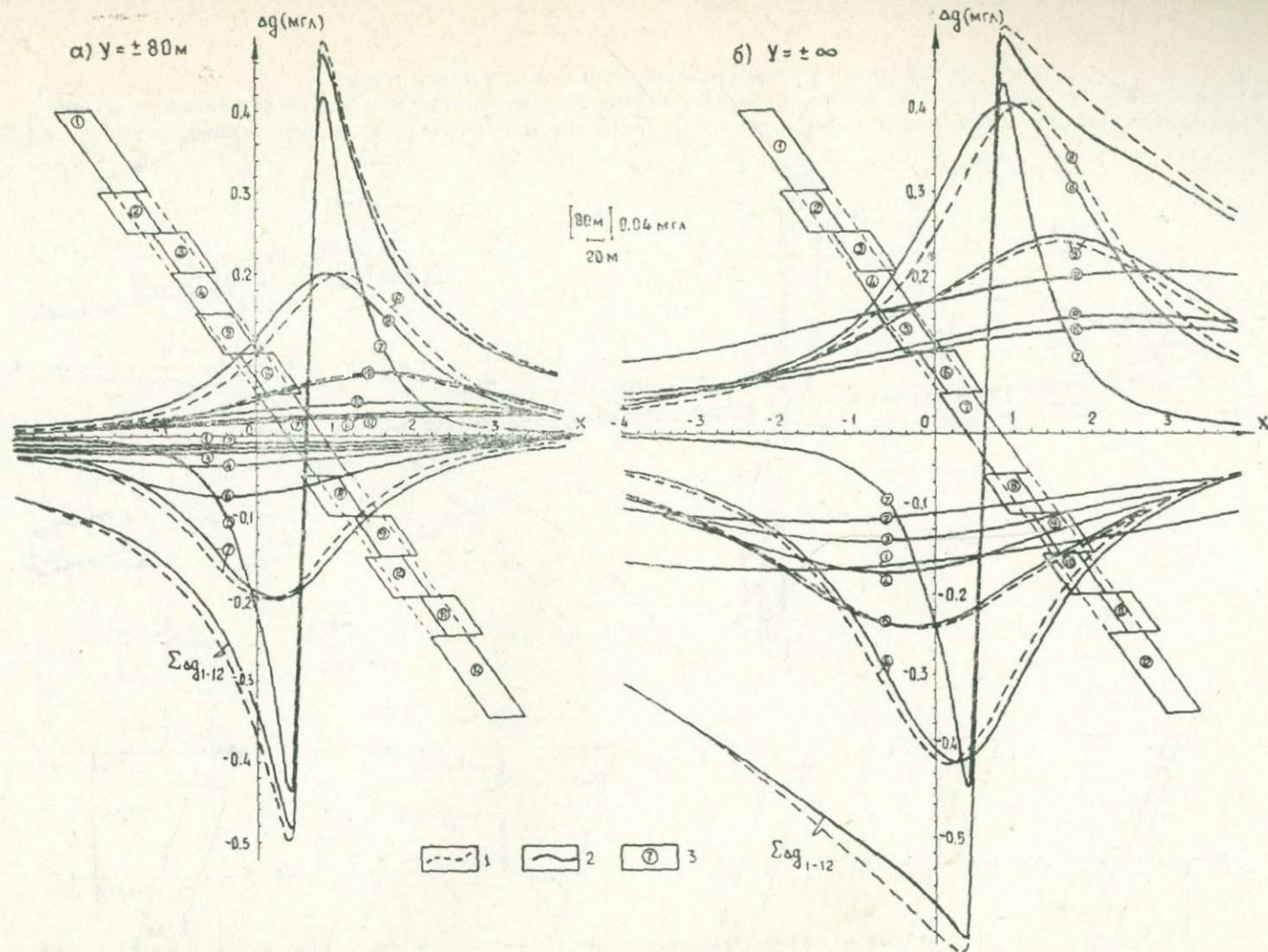


Рис. 3. К оценке возможности аппроксимации сложных сечений тел в вертикальной плоскости более простыми.  
 1—кривые  $\Delta g$  от элементов пласта до сдвигов; 2—кривые  $\Delta g$  от элементов пласта после сдвигов; 3—номер элемента пласта и ему принадлежащей кривой  $\Delta g$ .

~500м пластообразные сложные тела аппроксимировать телами более простой геометрической формы, например, наклонными призмами.

Геологическое строение структуры в вертикальной плоскости весьма сложное. Наблюдаются пережимы пластов, смещения, выклинивания и т. п. Поэтому сечения пластов необходимо задавать многочисленными элементарными телами.

Покажем это на моделях двух пластов, имеющих размеры по простиранию  $\pm 80$  м и  $\pm \infty$ , а вкрест простирания— $b=45$  м,  $h=800$  м,  $H=-700$  м,  $\alpha=70^\circ$ ,  $\sigma=1$  г/см<sup>3</sup> (рис. 3). Пласты были разбиты на 12 примерно равных блоков, как показано на рис. 3. От каждого блока рассчитано поле  $\Delta g$  до смещения его в плоскости XOZ и после, а также суммарные поля до и после смещения блоков.

Из рисунка видно, что удаленные блоки пласта даже при малых размерах по простиранию создают нелинейные аномалии интенсивностью до 0,02 мгл и пренебречь ими нельзя. Суммарные поля от элементов пласта до и после смещения их в плоскости XOZ существенно отличаются (до 0,04 мгл), и это требует детального учета дизъюнктивной и пликативной нарушенности в околывыработочном пространстве. Однако нетрудно видеть, что начиная с удаления  $\pm 200$ — $\pm 300$  м по вертикали поля от блоков до и после смещения практически совпадают. Это позволяет упростить модель сильно нарушенного по вертикали пласта и сделать удовлетворительный учет его влияния. Так, согласно рис. 3, достаточно было бы сложный пласт задать следующими блоками: 6,7,8,9,1+2+3+4+5—объединенными в один до смещения. и 10+11+12—также взятыми до смещения. Такое построение модели, практически не скажется на суммарном поле от всего пласта, но время вычислений сократится более чем на 1/3.

Таким образом, при учете гравитационного влияния структур типа Криворожской следует: а) создать общую модель структуры, элементы которой представляют собой  $n$ -угольные двухмерные призмы, используя при этом общие геолого-геофизические данные о глубинном ее строении и данные о физических параметрах горных пород; б) в общую модель структуры, согласно приведенным выше исследованиям, нужно вписать близкорасположенные к исследуемым выработкам массы со всеми их особенностями и расчет поля выполнить в трехмерном варианте.

При учете гравитационного влияния структур типа Криворожской приходится выполнять очень большой объем вычислений. Нами был выполнен анализ существующих приемов решения прямой задачи гравиметрии на ЭВМ и сделан вывод, что для подземных условий наиболее приемлемыми следует считать методы, в основу которых заложено численное интегрирование. Были использованы программы Г. Я. Голидры [3,4] «Полигон—2»—при расчете двухмерного поля от общей структуры и «Полигон—3»—при расчете трехмерного поля силы тяжести от близкорасположенных масс.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анищенко Н. М. и др. Врахування впливу Криворізької структури на гравітаційні вимірювання в ґрунних виробках.—«ДАН УССР. Сер. Б», № 8, 1973.
2. Белевцев Я. Н. Геология Криворожских железорудных месторождений. Том 1, 2. Киев, Изд. АН УССР, 1962.
3. Голидра Г. Я. Решение прямой задачи гравиметрии для трехмерных масс.—В кн. «Материалы геофиз. исслед. на Украине», Киев «Наукова думка», 1972.
4. Голидра Г. Я., Попов В. М. Вычисление на ЭВМ поля гравитирующих масс.—«Разведочная геофизика», вып. 56, «Недра», М., 1973.

В. Б. ГАМОЯН, С. В. БАДАЛЯН, Е. М. ЛУЛЕЧЯН

(ИГИС АН АрмССР)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ, ВЫЗВАННЫХ БЛУЖДАЮЩИМИ ТОКАМИ

Институтом геофизики и инженерной сейсмологии (ИГИС) Академии наук Армянской ССР начиная с 1967 г. проводятся систематические исследования по разработке метода геофизической разведки с использованием блуждающих токов (БТ). Разработана методика регистрации блуждающих токов в подземных горных выработках. Изучены характер распределения полей БТ вокруг хорошо проводящих заряженных объектов различных форм и размеров, искажения полей БТ рельсами, трубопроводами, горными выработками. Созданы приемы интерпретации полевых данных [1—3].

Анализ осциллографических записей блуждающих токов, полученных в подземных горных выработках сульфидных месторождений Армянской ССР, привел к выявлению эффекта поляризации среды этими токами. Это обстоятельство, а также широкое распространение блуждающих токов, являющихся серьезной помехой при работе многими электроразведочными методами, поставили вопрос о расширении области применения метода БТ в геофизической разведке.

Ниже описываются результаты исследований, проведенных на Зодском золоторудном, Шамлугском и Алавердском медных месторождениях Армянской ССР. Приводятся краткая методика полевых работ, результаты по изучению амплитудно-частотной характеристики блуждающих токов, кривые зависимости поляризуемости сульфидных образцов от времени заряда (временная характеристика ВП) и кривые, характеризующие поляризуемость среды блуждающими токами, полученные в подземных горных выработках.

На рис. 1 представлены осредненные вариационные кривые продолжительности и амплитуды импульсов градиента потенциала блуждающих токов, полученные стационарными наблюдениями на различных участках Зодского, Шамлугского и Алавердского месторождений. Как следует из графика, амплитуда разности потенциалов БТ на рассмотренных месторождениях достигает 25 и более мВ/м, а продолжительность импульсов—более 7 сек. Расчеты показывают, что вероятность появления импульсов с продолжительностью более 3 сек и с амплитудой более 10 мВ/м, при которых вполне возможно регистрировать вторичные поля блуждающих токов, составляет 1—2 импульса в минуту. Такое количество импульсов достаточно для непрерывной работы геофизического отряда.

Графики временной характеристики сульфидных образцов (рис. 2), отобранных на исследуемых месторождениях, показывают, что зависимость поляризуемости руд от времени заряда в диапазоне  $T_3 = 1 \div 20$  сек описывается логарифмической функцией  $\eta = K \ln T_3$ .

Полевые наблюдения по изучению распределения полей блуж-

дающих токов выполнялись трехэлектродной градиентной схемой ( $M_1N_1(M_2)N_2$ ), состоящей из двух приемных установок с одним общим электродом. Регистрация изменения разности потенциалов производилась электроразведочной станцией ВП—59 с осциллографической записью на выходе.

Ввиду того, что продолжительность импульсов блуждающих токов на исследованных месторождениях колеблется в пределах  $1 \div 10$  сек, нами все наблюдаемые значения  $\eta$  (БТ) были приведены к уровню поляризации среды при 10-секундной продолжительности тока заряда. В этих целях пользовались формулой

$$\eta(\text{БТ}) = \eta^*(\text{БТ}) + K(10 - T),$$

где  $\eta(\text{БТ})$ —коэффициент поляризации среды при продолжительности импульса блуждающих токов 10 сек;

$\eta^*(\text{БТ})$ —наблюдаемый коэффициент поляризации среды;

$T$ —продолжительность импульса блуждающих токов;

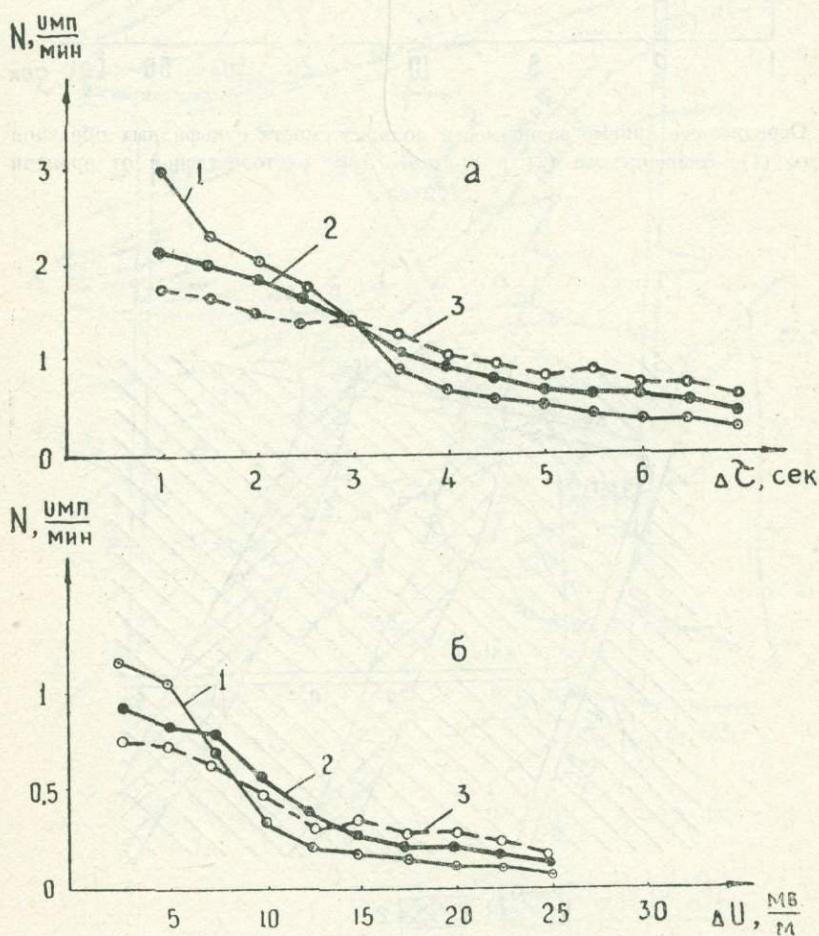


Рис. 1. Осредненные вариационные кривые продолжительности (а) и амплитуды (б) импульсов градиента потенциала блуждающих токов на Зодском (1), Шамлугском (2) и Алавердском (3) месторождениях.

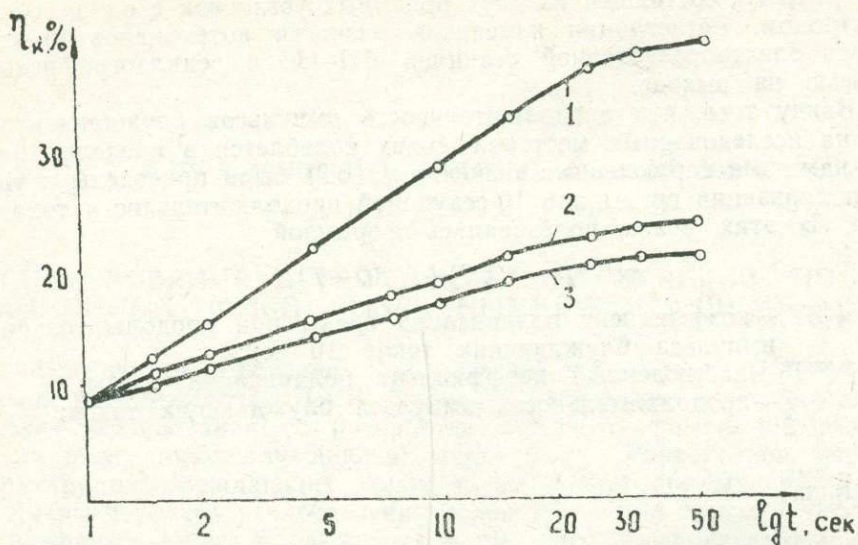


Рис. 2. Осредненные кривые зависимости поляризуемости сульфидных образцов Шамлугского (1), Алавердского (2) и Зодского (3) месторождений от времени заряда

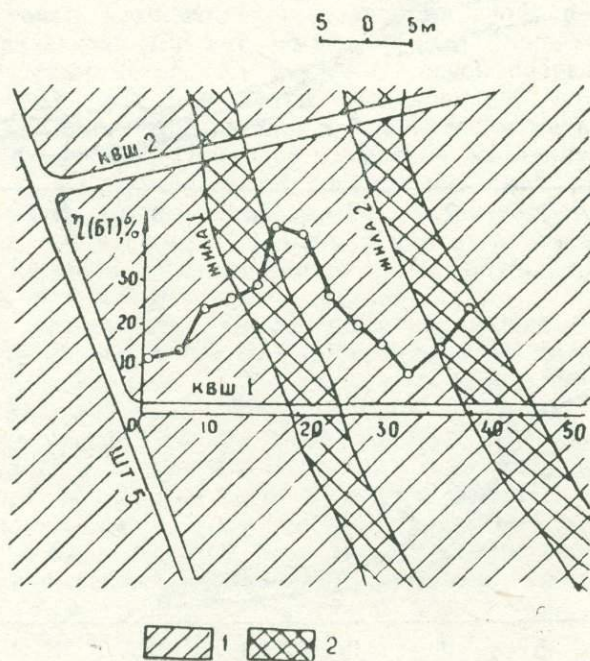


Рис. 3. Геологический план участка горизонта штольни Зодского месторождения и кривая  $\eta$  (БТ)  
1—измененные и окисленные породы габбро; 2—сульфидные рудные жилы.

$$K = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\lg \frac{T_2}{T_1}}$$

$\eta_2$ —коэффициент поляризации при  $T_3 = T_2$  ( в наших работах  $T_2 = 2$  сек);

$\eta_1$ —то же при  $T_3 = T_1$  ( в наших работах  $T_1 = 1$  сек).

Для вычисления параметра  $\eta$  (БТ) использовались импульсы продолжительностью более 3 сек.

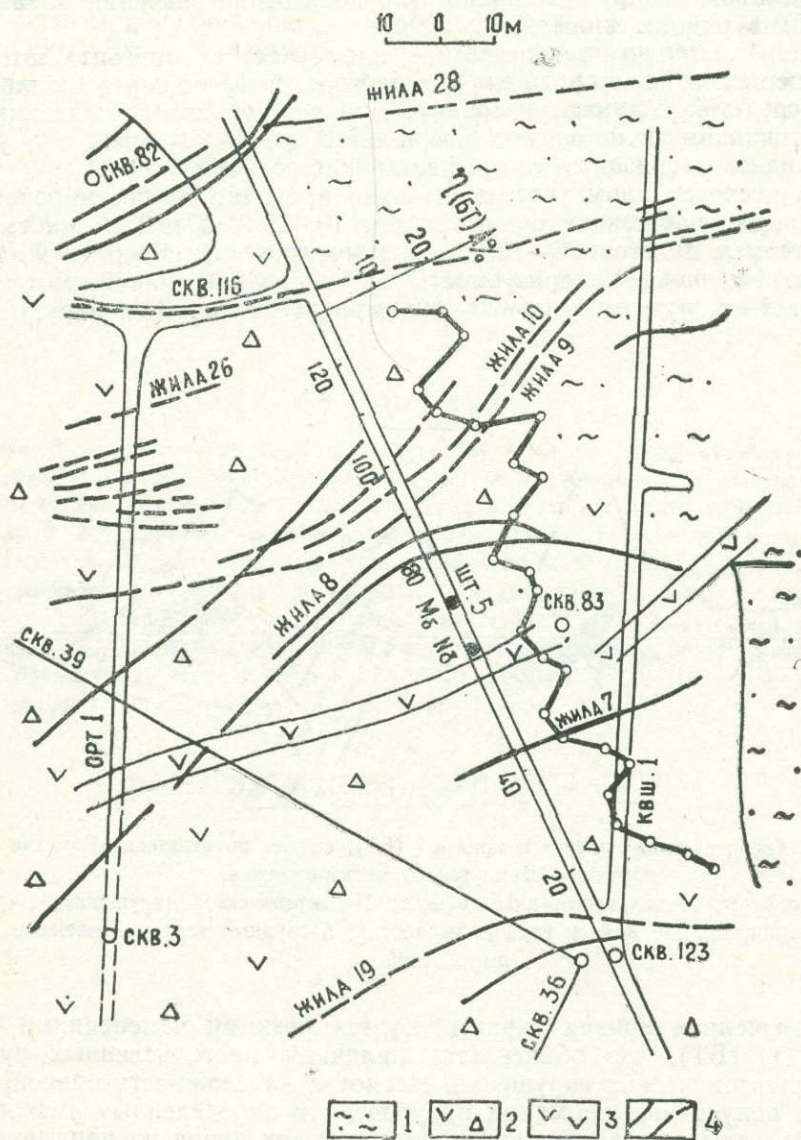


Рис. 4. Геологический план участка горизонта штольни 5 Алавердского месторождения меди и кривая  $\eta$  (БТ).

1—гидротермально измененные породы серицитового состава; 2—порфиритовые брекчии; 3—андезитовые и дацитовые порфириты жильные; 4—жилы и прожилки халькопирита.

На рис. 3 представлены геологический план горизонта штольни 5 Зодского месторождения и кривая  $\eta$  (БТ), полученная в квершлагге 1, проходящем по зоне измененных и окисленных пород (габбро) с удельной электрической поляризуемостью  $\eta = 3 \div 6\%$  и в интервалах пикетов 19—24 и 39—46, пересекающем сульфидные рудные жилы с  $\eta = 30\text{—}40\%$ . Источником блуждающих токов служили контактные электровозы, передвигающиеся по горизонтам штолен 5 и 25. Штольня 25 расположена ниже горизонта наблюдений на 94 м.

Несмотря на сложность сети транспортных выработок, служащих источниками поля, на полученной кривой выделяются четко выраженная аномалия над рудной жилой 1 и повышение значений параметра  $\eta$  (БТ) в районе жилы 2.

Рис. 4 содержит геологический план участка горизонта штольни 5 Алавердского месторождения и кривую коэффициента поляризуемости среды блуждающими токами. При регистрации блуждающих токов источником поля служил квершлаг 2, расположенный под углом и на одном горизонте с профилем наблюдений.

На исследованном участке штольня проходит по брекчированным порфирирам, пересекает рудные жилы 19, 7, 8, 9 и 10 (пикеты 3 и 45, интервал пикетов 75—100), тектонические нарушения и жильные породы. Удельная поляризуемость брекчированных порфиритов составляет  $2 \div 4$ , рудных жил— $20\text{—}30$ , пород тектонических нарушений— $5\text{—}7\%$ .

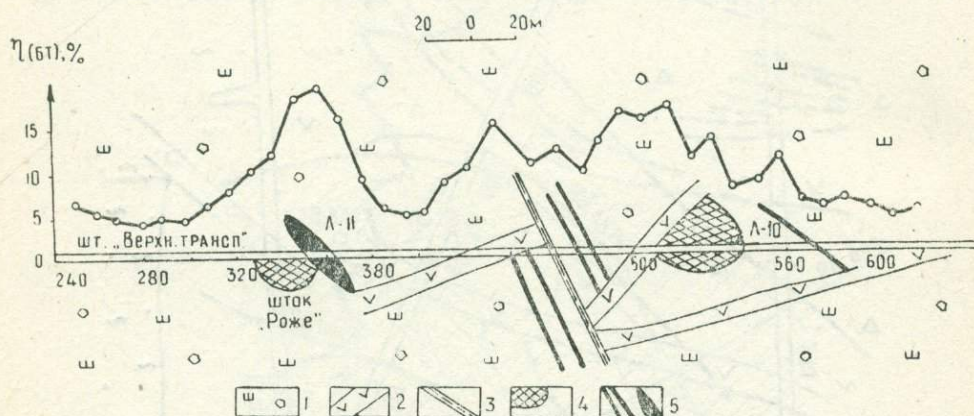


Рис. 5. Геологический разрез и кривая  $\eta$  (БТ), снятая по штольне «Верхняя транспортная» Шамлугского месторождения.

1—кератофиры; 2—кварцевые альбитофиры; 3—тектоническое нарушение; 4—рудные тела, расположенные вблизи горной выработки; 5—рудные тела, обнаженные горной выработкой

Полученная кривая характеризуется резкими изменениями параметра  $\eta$  (БТ), что объясняется наличием многочисленных рудных жил и тектонических нарушений. Несмотря на сложность кривой, каждая из полученных аномалий приурочена к определенным геологическим объектам, отличающимся от окружающих пород по параметру  $\eta$ .

На Шамлугском месторождении метод блуждающих токов применялся с целью выявления сульфидных рудных тел, расположенных на небольшом расстоянии от горных выработок. На рис. 5 представлены геологический разрез и кривая  $\eta$  (БТ), полученная в штольне

«Верхняя транспортная». Выработка проходит по кератофирам с удельной поляризуемостью  $\eta = 3-5\%$ , пересекает медноколчеданные рудные тела (интервалы пикетов 350—365, 450—480, 560—580) и дайки высокоомных кварцевых альбитофинов. Штольня проходит вблизи рудной линзы 10 и штока «Роже» на расстоянии 12 и 28 м соответственно. Руды Шамлугского месторождения характеризуются высокой поляризуемостью ( $\eta = 30-40\%$ ) и четко отличаются от окружающих кератофинов.

Полученная кривая блуждающих токов характеризуется двумя аномалиями с довольно высокими значениями  $\eta$  (БТ). Первая из аномалий (интервал пикетов 330—380) территориально соответствует штоку «Роже» и рудной линзе 11, обнажающейся в горной выработке (пикет 350). Здесь максимальное значение поляризуемости составляет 19%. Вторая аномалия (интервал пикетов 420—570) получена в районе линзы 10 и серии рудных жил. Она характеризуется резкими изменениями параметра  $\eta$  (БТ), что объясняется сложностью геологического строения данного участка. В пределах кератофинов значение  $\eta$  (БТ) составляет 4—6%.

Исходя из представленных результатов можно заключить, что на рассмотренных месторождениях имеются все предпосылки для использования поляризационных полей, вызванных блуждающими токами, с целью выявления и прослеживания сульфидных рудных тел.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Гамоян В. Б.* Некоторые вопросы метода блуждающих токов.—«Тезисы докладов республиканской конференции молодых ученых Армении, посвященной 100-летию со дня рождения В. И. Ленина». Ереван, Изд. АН АрмССР, 1970.
2. *Гамоян В. Б.* Рудничный вариант метода блуждающих токов.—«Тезисы докладов конференции молодых геологов Армении, посвященной 50-летию установления Советской власти в Армении и 50-летию Коммунистической партии Армении». Ереван. Изд. Арм. науч.-техн. горного о-ва, 1970.
3. *Гамоян В. Б.* Применение естественных электрических полей и полей промышленных блуждающих токов в подземных горных выработках при решении поисково-разведочных задач. Автореф. канд. дис. Ереван, 1972.

В. Е. ЛАНДА

(Читинское геолуправление Мингео РСФСР)

## О ПОИСКОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ПОДЗЕМНОГО ВАРИАНТА МЕТОДА СДВ-РАДИОКИП

Эффективность радиоволновых методов на рудных месторождениях Забайкалья, положительные результаты метода СДВ-радиокип в наземном варианте на рудно-кварцевых объектах, сравнительно большая глубина проникновения сверхдлинных волн в землю (до 300 м и более)—все это позволило приступить к разработке методики применения этого метода под землей [1, 5]. При этом также учитывалось, что результаты шахтного радиопросвечивания в модификации радиопрофилирования и радиозондирования зависят от способа задания поля, его распределения в выработках. В методе же дальней зоны, каким является метод СДВ-радиокип, условия возбуждения поля стабильнее, что облегчает интерпретацию радиоволновых аномалий.

Исследования в горных выработках проведены с серийным наземным прибором СДВР—3, которым выполняются измерения магнитных и электрических компонент: полная (максимальная) горизонтальная магнитная компонента  $H_p$  (в направлении радиопеленга), компоненты  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$  и угол  $\alpha$ . При измерении  $H_y$  ферритовая антенна устанавливается вкрест выработки; при измерении  $H_x$  она ориентирована параллельно выработке. Угол наклона эллипса поляризации магнитного поля  $\alpha$  фиксируется по минимуму радиоприема.

Кроме того измеряется электрическая компонента поля  $E_x$  (разнос электродов—10 м).

Ввиду того, что в земле амплитуда горизонтальной электрической компоненты  $E_x$  в  $\sqrt{\epsilon^*}$  раз больше амплитуды вертикальной компоненты поля  $H_z$  [3] (где  $\epsilon^*$ —комплексная диэлектрическая постоянная нижней среды), измерения  $E_z$  со штыревой вертикальной антенной проводятся только в неглубоких выработках, свободных от искусственных проводников.

В отличие от электрических горизонтальные компоненты магнитного поля по обе стороны от границы раздела равны: наименьшие искажения от искусственных проводников получены для  $H_y$ . Обе компоненты,  $H_x$  и  $H_y$ , измеряются в средней части выработки в 1—1,5 м от рельсов и металлических труб. С целью уточнения влияния горных выработок на результаты измерений рассчитывались графики  $H_p' = \sqrt{H_x^2 + H_y^2}$ . В большинстве случаев расчетные графики совпадают с экспериментальными, что частично указывает на слабое влияние искусственных проводников на результаты измерений горизонтальных компонент магнитного поля. Существенных изменений радиопеленга и напряженности СДВ-поля, связанных с экранирующим влиянием полостей небольших рассечек и ортов, в практике работ не наблюдалось. В подземных условиях также, как и при наземных наблюдениях, следует учитывать вариации поля во времени.

Изучение полей удаленных СДВ-радиостанций проводилось на нескольких золоторудных месторождениях, Ниже в основном представлены данные, относящиеся к золоторудному месторождению «Горячее», где вмещающие породы—габбро-диориты прорваны верхнеюрскими дайками кислого, среднего и основного состава. Рудные зоны кварц-турмалин-магнетит-пирит-халькопиритового состава являются опережающими по отношению к диагональному разлому, являющемуся основным тектоническим элементом месторождения. Геоэлек-

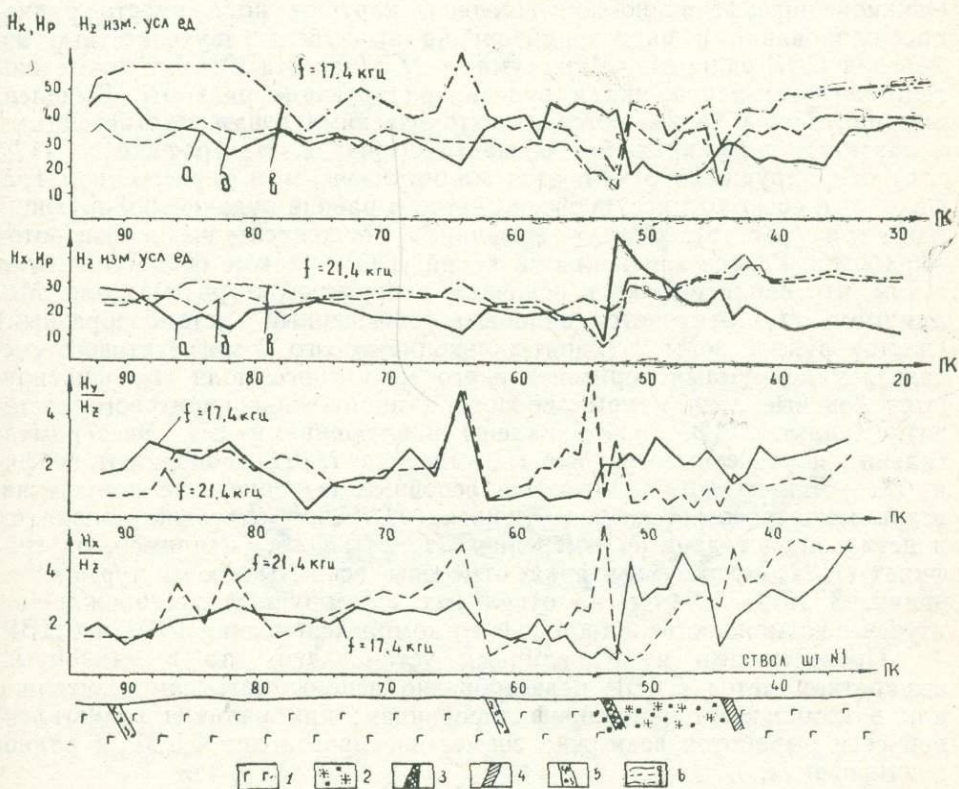


Рис. 1. Экспериментальные и расчетные графики метода СДВР на золоторудном месторождении, штольня 1, ствол.

1—габбро-диориты; 2—пиритизированные гранит-порфиры; 3—рудная зона (существенно турмалинового состава с пиритизацией); 4—рудная зона (существенно сульфидного состава) и предполагаемый проводник; 5—тектоническая зона дробления с пиритизацией; 6—графики  $H_z$  (а),  $H_x$  (б),  $H_p$  (в).

трический разрез для постановки радиоволновых методов благоприятен. По стволу штольни 1 на пк 43 и 53 вскрыты рудные зоны 4 и 3 существенно пирит-халькопиритового и кварц-турмалинового состава, угол их падения  $40-45^\circ$ . Между ними расположена пиритизированная дайка гранитов (рис. 1). Обе зоны вместе с дайкой отмечаются широким минимумом  $H_z$  (пк 34—52) и локальными минимумами  $H_x$ ,  $H_p$  (пк 43 и 52) (частота 17,4 кГц). На кривой  $\alpha$  наибольшие уменьшения углов до  $-40-60^\circ$  характерны для этих зон.

При изменении радиопеленга на  $90^\circ$  (частота 21,4 кГц) зона 4 фиксируется максимумом (пк 42—43), зона 3 минимумом  $H_p$  (пк 52—53) и перегибом на графике  $H_z$ . Зона дробления на пк 64 отмечается минимумом  $H_z$ , максимумом  $H_p$  и аномальным скачком на графиках

$H_y/H_z$  (на обеих частотах) и  $H_x/H_z$  (21,4 кгц), соизмеримым с максимумом  $H_y/H_z$  и  $H_x/H_z$  над рудной зоной 3. По характеру графиков СДВ-радиокип можно заключить, что ствол штольни пройден в рудной зоне, распространяющейся выше и ниже выработки. Рудная зона 4 на пк 64, предполагаемый проводник на пк 82, очевидно, характеризуются меньшими размерами и протяженностью на глубину. В штреке 2, характеризующемся извилистой конфигурацией и обилием искусственных проводников, для картирования основных тектонических нарушений и уточнения морфологии рудной зоны с целью исключения сложной интерференционной волновой картины поля вместо радиопрофилирования и радиозондирования выполнены двухчастотные измерения СДВ-радиокип. Минимумами  $H_x$  (частота 21,4 кгц) отмечены тектонические нарушения и рудоконтролирующие разломы. Выделенные нарушения увязываются с тектоническими зонами, встреченными в наземных скважинах, на горизонте штрека 2. На графике  $\alpha$  (17,5 кгц) эти нарушения отмечаются минимумами  $\alpha$  и пересечением графика  $\alpha$  с осью абсцисс, особенно четко в районе рудоконтролирующих разломов (рис. 6). Однако графики  $\alpha$  осложнены из-за поворотов выработки. Резкие изменения значений угла  $\alpha$  также свидетельствуют о том, что вдоль штрека в основном измерялось вторичное поле. Минимумом  $H_y$  отмечается наиболее обогащенный (столбообразный) участок рудной зоны 2 (пирит-халькопиритового и магнетитового состава), максимумами горизонтального магнитного поля  $H_p$  фиксируются боковые зоны (турмалинового и пирит-халькопиритового состава). Данные СДВР подтверждены наблюдениями ЕП. Экспериментальные и расчетные графики  $E_x$ , импеданса  $H_x/H_z$  дополняют графики  $H_x$  — минимумами отмечаются основные тектонические нарушения, вскрытые штреком. Графики отношений  $H_x/H_z$  и  $H_y/H_z$  также дополняют и детализируют данные измерений  $H_x$ ,  $H_y$  и  $H_z$ , например, на графиках  $H_x/H_z$  максимумом поля отмечены вскрытые зоны турмалинизации. В 1972—1974 гг. на отдельных золоторудных месторождениях изучены возможности рационального комплексирования РВП и СДВР.

Проведенными исследованиями установлено, что в одиночных выработках метод СДВР целесообразно использовать самостоятельно или в комплексе с радиопрофилированием; при наличии разветвленной сети выработок возможно совместное проведение СДВР и радиозондирования.

Например, рудное тело сульфидно-магнетитового состава, по которому пройден штрек 14, было вначале оконтурено при радиозондировании из горизонтальной скважины в штрек 2, затем оруденение было вскрыто горизонтальными поисковыми скважинами, но при проходке штрека 14 основная часть рудного тела осталась в боковой стенке выработки, что подтвердилось рассечками Р-3, Р-5 (рис. 2). Широкий контур области тени (ПК 1—10) по данным радиозондирования из Р-27 (штрек 2) в штрек 14 был обследован методом СДВР. Действительно, максимумом  $H_x$  (частота 21,4 кгц), минимумом  $H_y$  (частота 17,5 кгц), а также понижением значений  $H_p$  между пк 4—10, отмечено наличие смещенных тектоническими нарушениями боковых частей рудного тела; одно из этих нарушений на пк 3 фиксируется минимумом  $H_x$ . Положительными аномалиями на расчетных кривых  $H_x/H_y$  и  $H_x/H_z$  выделен участок рудного тела между рассечками Р-3, Р-5 и штреком 14 (пк 6—9).

В выработках, пройденных по рудным зонам, простирающие которых совпадает с радиопелегом или составляет с ним угол до 90°, методом СДВР как самостоятельно, так и совместно с РВП возможно определить, в какой стороне по ходу выработки в процессе ее проход-

ки находится смещенная часть рудной зоны или боковые «слепые» рудные тела. По штреку 3, пройденному по простирацию, фиксируется минерализованная зона турмалинового состава (рис. 3). В процессе проходки этого штрека на безрудном интервале, между пикетами 8—13, максимумом  $H_x$  (частота 21,4 кгц) и минимумом  $H_y$  (частота

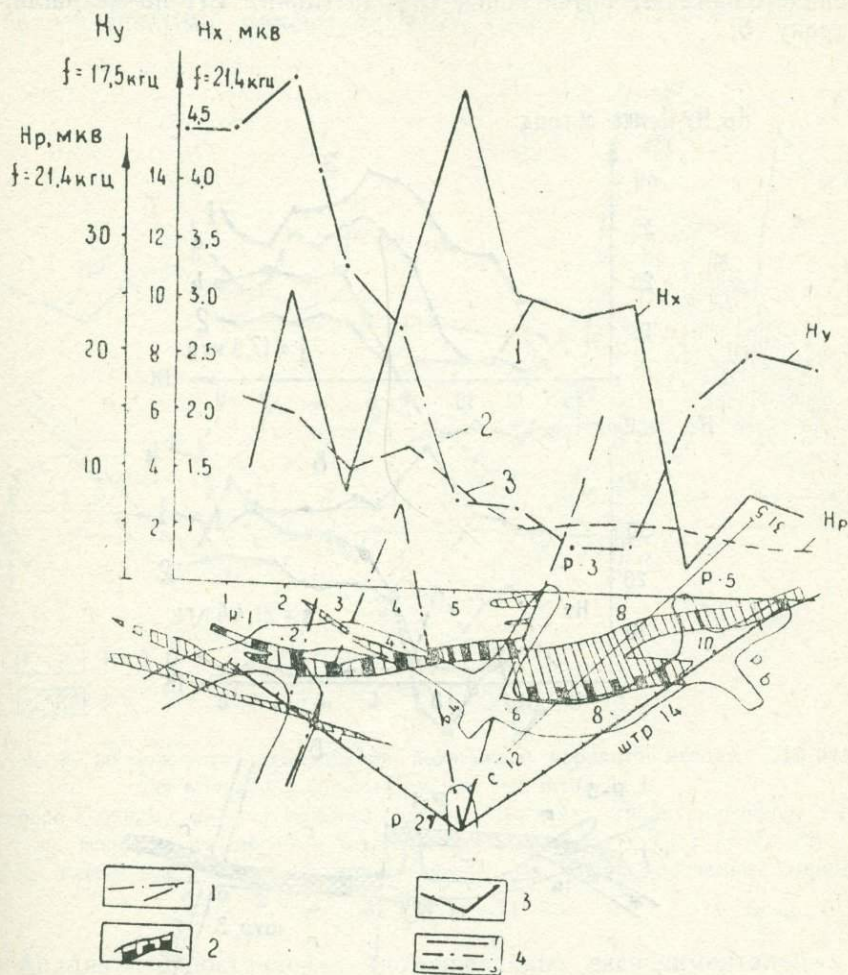


Рис. 2. Комплексирование радиозондирования и подземного варианта СДВР, штрек 14. 1—тектонические нарушения; 2—рудные тела сульфидно-магнетитового состава; 3—контур области тела при радиозондировании из расчески 27 в штрек 14; 4—графики составляющих поля  $H_x$  (1),  $H_y$  (2) и  $H_r$  (3) подземного варианта СДВР.

17,5 кгц) отметился смещенный участок рудной зоны 3, который находится справа по ходу выработки, что согласуется с данными радиозондирования между стволом штольни и штреком. Рудоконтролирующее нарушение на пк 7 фиксируется на обеих частотах сменой знака угла  $\alpha$ , перегибом  $H_z$  и максимумом  $H_r$ . Рассечки 1, 3, вскрывшие минерализованную зону, подтвердили данные СДВР.

При наблюдениях на частоте 17,5 кгц по квершлагу 1 (направленному по радиопеленгу) на пк 14—16 была отмечена интенсивная аномалия (рис. 4), увязываемая с боковым проводником. Данные СДВР подтвердились последующей проходкой проверочного штрека

5, вскрывшего столбообразное промышленное рудное тело турмалин-сульфидно-магнетитового состава, разведанного впоследствии восстающей выработкой. По графикам  $H_x$ ,  $H_p$ ,  $H_z$  (штр. 5) было высказано предположение, что основная часть рудного тела расположена между штр. 5 и квш. 1 и имеет значительное продолжение на глубину, о чем свидетельствуют интенсивные отрицательные ЕП по кварцлагу 1 и штреку 5.

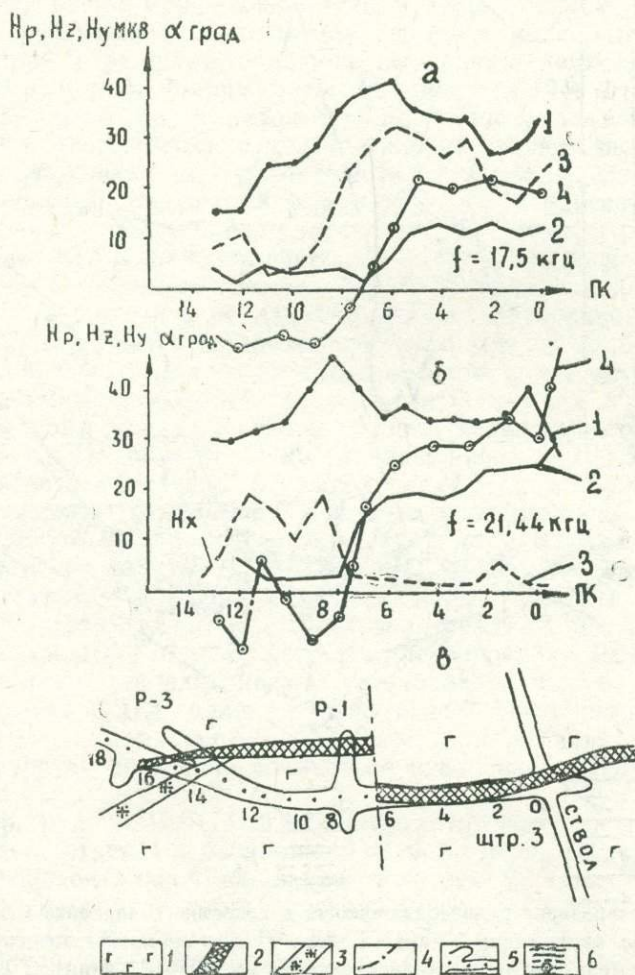


Рис. 3. Данные двухчастотных измерений СДВР, штольня 1, штрек 3. 1—габбро-диориты; 2—рудная зона существенно турмалинового состава; 3—дайки гранит-порфиоров; 4—тектоническое нарушение; 5—горная выработка с пикетами стоянок приемника; 6—графики СДВР.  $H_p$ —1,  $H_z$ —2,  $H_y$  (17,4кГц)—3 и  $H_x$  (21,44кГц)—4

Значительные возможности подземного варианта СДВР по уточнению морфологии малосульфидных рудно-кварцевых жил выявлены и в шахте № 2 на одном из участков Игакинского золоторудного поля [4]. Действительно, по штреку 1 (рис. 5), пройденному по рудной жиле (простираение которой совпадает с радиопеленгом на частоте 17,5 кГц),

максимумом  $H_x$  по левому борту шторка (32—45 м) отмечается вскрытый участок жилы и предполагаемое ее продолжение в боковой стенке выработки (50—67 м). Зона катаклаза с кварц-сульфидной жилой в правой стенке шторка 2 (20—60 м) выделяется по минимуму  $H_x$  и максимуму  $H_p$ . Кварц-сульфидные интервалы зоны отмечаются слабоинтенсивными максимумами  $H_z$  (рис. 5).

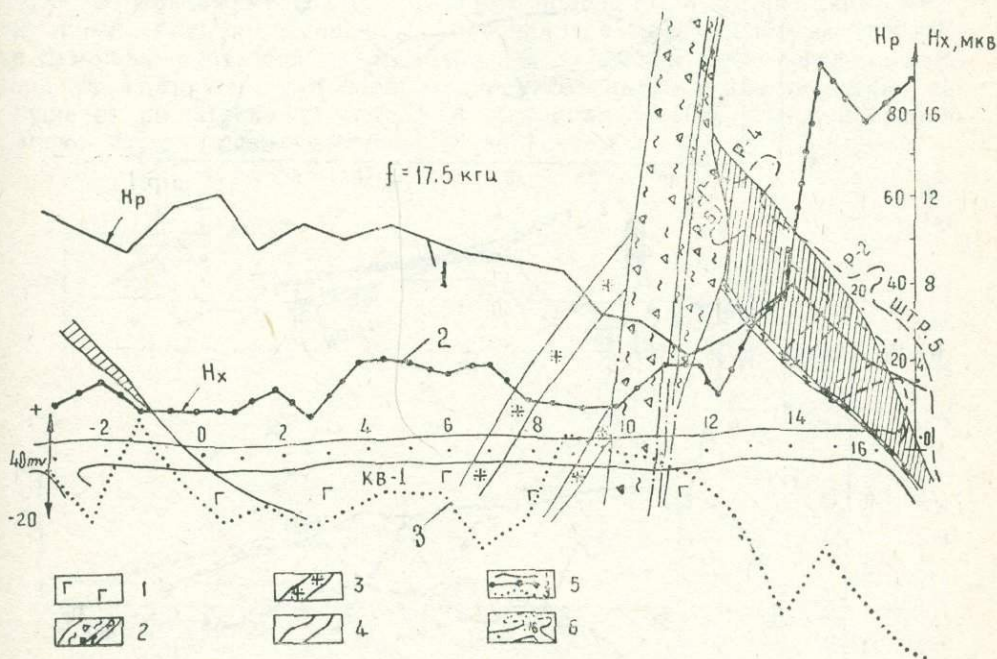


Рис. 4. К возможности исследования подземного варианта метода СДВ-радиокипи для выявления боковых рудных тел, штольня 1.

1—габбро-диориты; 2—диагональный разлом; 3—дайка гранит-порфиров; 4—рудное тело, вскрытое проверочным шторком 5; 5—графики  $H_p$  (1) и  $H_x$  (2) СДВР, график подземных наблюдений естественного поля (3); 6—подземные горные выработки.

Анализ и сопоставление многочисленных экспериментальных данных СДВР (одночастотные измерения) позволяют в большинстве случаев выявить местоположение объектов и определить, с какой стороны горных выработок (слева или справа по направлению проходки выработки от ее начала) находится смещенная по тектоническим зонам разведываемая часть рудной зоны или «слепое» рудное тело. Если простираение рудной зоны, по которой пройдена выработка, совпадает с направлением прихода радиоволн (пеленгом) или составляет с ним острый угол ( $H_p \sim H_y$ ), то по максимуму  $H_x$  можно предположить что искомый объект находится в левой стенке выработки (рис. 4, 5).

В сложных по конфигурации выработках или при изменении состава и проводимости рудных тел в отдельных случаях по максимумам  $H_x$  фиксируются объекты и в правой стенке выработок. В этих случаях необходима постановка двухчастотных измерений методом СДВР в комплексе с РВП и другими методами подземной геофизики (ЕП, метод заряда—МЗ). Если направление простираения рудной зоны значительно отклоняется от радиопеленга, то по минимуму  $H_x$  (или по максимуму  $H_y$ ) определяется местоположение искомого объекта в

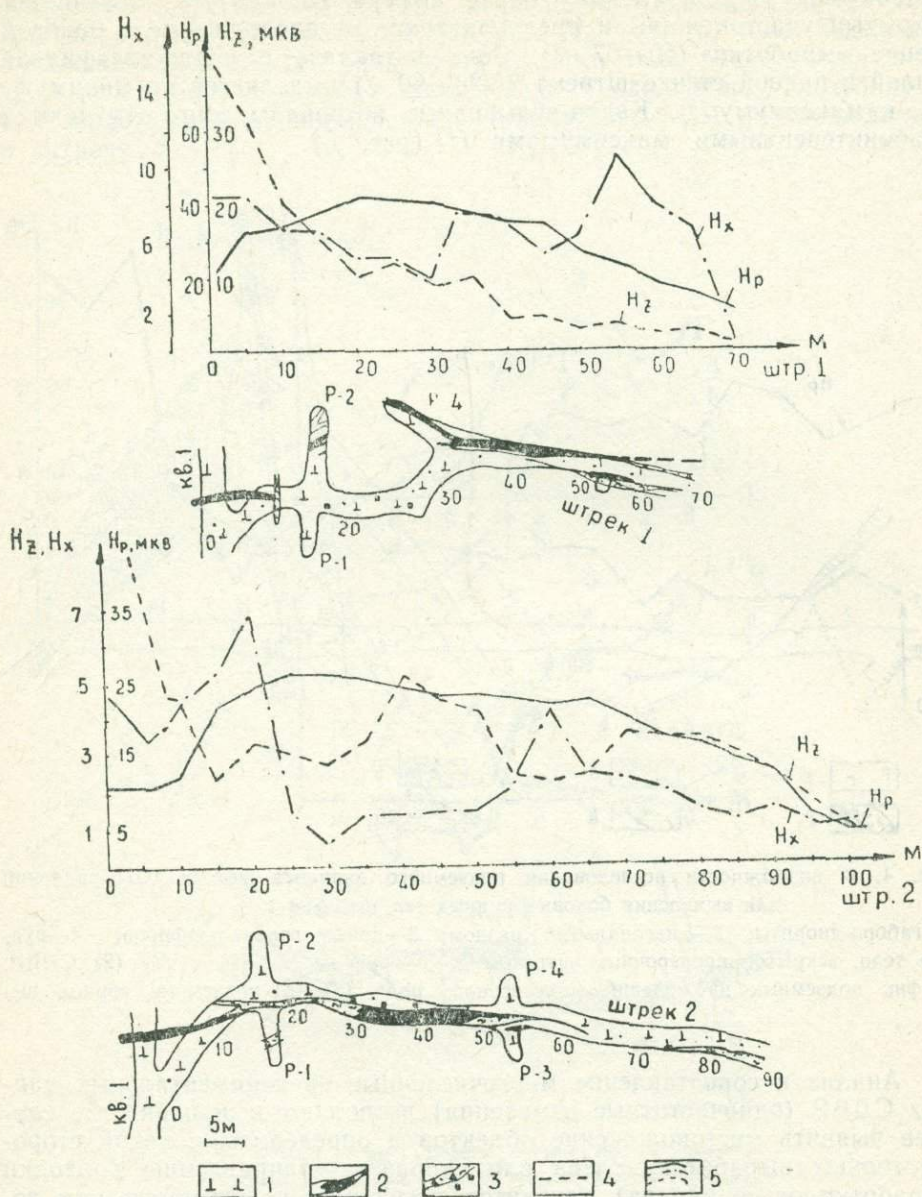


Рис. 5. Результаты подземного варианта метода СДВ-радиокип на Малеевском участке, шахта № 2.

1—гранодиориты; 2—золото-кварцевые жилы; 3—зоны измененных катаклазированных пород, пиритизация; 4—граница золото-кварцевой жилы по данным СДВР; 5—графики измерений на частоте 17,5 кГц.

правой стенке выработки (рис. 3, 5). При уточнении плана горнопроходческих работ рекомендуется проведение двухчастотных измерений СДВР и РВП (радио профилирование) на сравнительно прямолинейных участках одиночных выработок.

Положение рудоконтролирующих разломов, тектонических нару-

шений, как вскрытых, так и не вскрытых выработками, определяется по данным РВП и по пересечению графика  $\alpha$  оси абсцисс в методе СДВР. Кроме этого, можно использовать минимумы на графиках  $\alpha$ ,  $H_x$ ,  $H_z$ , импеданса  $E_x/H_z$  и отношений  $H_x/H_y$ ,  $H_x/H_z$ . Для определения и уточнения угла падения тектонических зон предложено использовать приемы, применяемые в зарубежной практике при исследованиях по методу канадской фирмы АФМАГ [6]. С графика  $\alpha$  снимается значение угла в максимуме ( $d_+$ ) и минимуме кривой ( $\alpha_-$ ) и расстояние между ними ( $\Delta x$ ); по отношению  $\Delta x$  к ширине полумаксимума ( $\Delta x/\Delta W$ ) с помощью расчетной палетки (рис. 6, а) определяется угол падения зон  $\theta$ . Погрешность в определении углов падения тектонических нарушений по штрекам 2 (рис. 6, б) составила 5—10%, что при разбивке тектонических зон вполне допустимо.

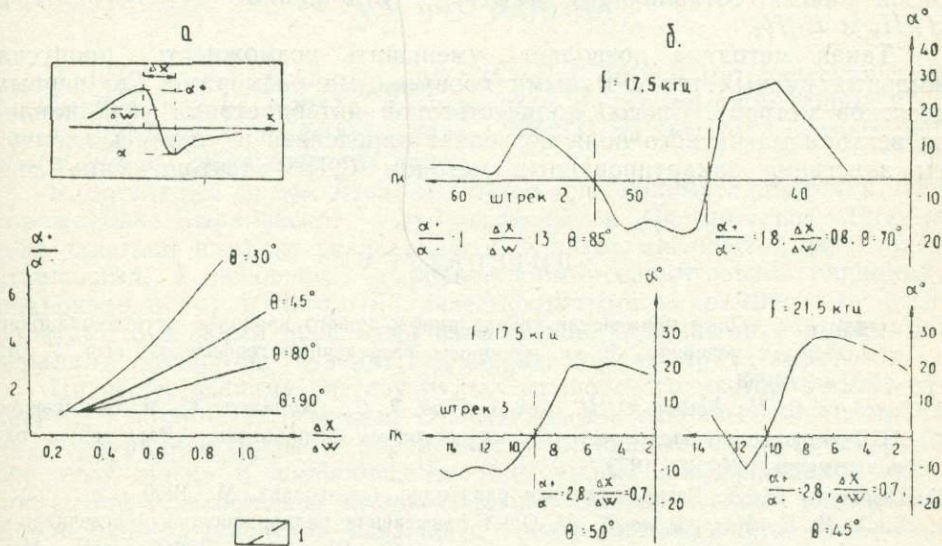


Рис. 6. Расчеты элементов залегания тектонических нарушений для углов наклона вектора магнитного поля в подземном варианте метода СДВР.

а—палетка для расчетов [6], б—примеры определения углов падения тектонических нарушений штольни 1, 1—тектонические нарушения.

При постановке и комплексировании подземных радиоволновых методов на золоторудных месторождениях рекомендуется следующая последовательность работ.

1. На первом этапе исследований в одиночных горных выработках ставится метод СДВР как более производительный для экспресс-оценки околорудного пространства. С учетом полученных данных определяется необходимость проведения радиопрофилирования (РВП). На золото-сульфидных месторождениях со сложной конфигурацией выработок радиопрофилирование следует частично заменять наблюдениями СДВР. При этом геологическая эффективность не снижается, а за счет уменьшения численности бригады с четырех до двух человек повышается экономическая эффективность работ.

2. На втором этапе, при изучении межвыработочного пространства на одном разведываемом горизонте и между двумя разведываемыми горизонтами, метод СДВР проводится в комплексе с РВП. Уточнение объема и выбор модификации РВП проводятся согласно поставленным геологическим задачам и полученным результатам СДВР. Данные

этих методов взаимно дополняют друг друга и увеличивают возможности радиоволновых измерений за счет расширения диапазона частот.

3. Заключительным этапом является качественная и полуколичественная интерпретация данных.

Комплексные измерения магнитных составляющих методом СДВР позволяют оценить вероятность нахождения рудных объектов в околовыработочном пространстве и в большинстве случаев (с учетом направления радиопеленга) определять их местоположение относительно профиля наблюдений, что резко повышает геолого-экономическую эффективность радиоволновых методов.

Наряду с ранее предложенными А. Г. Тарховым и Г. О. Газаряном способами оценки положения рудных объектов по графикам  $H_p$  и  $H_z$ , рекомендуются апробированные приемы интерпретации графиков горизонтальных составляющих  $H_x(H_y)$ , отношений  $H_x/H_z$  ( $H_y/H_z$ ),  $H_x/H_y$  и  $E_x/H_z$ .

Такая методика позволяет уменьшить возможность пропуска жильных рудных тел с малыми поперечными размерами (до первых десятков метров). Способ количественной интерпретации угла наклона вектора магнитного поля позволяет определять и уточнять элементы залегания закартированных методом СДВР тектонических зон.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Газарян Г. О. Опыт применения сверхдлинноволнового варианта метода радиокип в подземных условиях.—В кн. «Вопросы разведочной геофизики», вып. 7, Л., «Недра», 1968.
2. Гинзбург С. Н., Родин Ю. Н., Седельников Э. С., Скорняков С. М. Применение СДВ-радиокип и радиопросвечивания в горных выработках.—«Разведка и охрана недр», № 2, 1973.
3. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. Связьиздат, М., 1960.
4. Ланда В. Е., Мельникова К. М. Опыт применения радиоволнового просвечивания на Итаткинском золоторудном месторождении: (Восточное Забайкалье).—«Изв. вузов. Сер. геология и разведка», № 7, 1970.
5. Тархов А. Г., Бондаренко В. М., Коваленко В. Ф. и др. Подземная геофизика. М., «Недра», 1973.
6. S. H. Ward, D. P. O'brien, J. R. Parry, B. K. McKnight. Aimag—interpretation Geophisics, vol. 33, № 4, 1968.

К. А. БАТЫРГОЖИН, Ю. В. ГРИШИН

(Алтайская геофизическая партия Минцветмета КазССР)

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДЭМП ПРИ ПРОМЫШЛЕННОЙ РАЗВЕДКЕ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗЫРЯНОВСКОГО РАЙОНА

С 1970 г. Алтайская территориальная опытно-методическая геофизическая партия начала производство работ методом дипольного электромагнитного профилирования (ДЭМП) на эксплуатируемых месторождениях Зырянского района.

В настоящее время отрабатывается три полиметаллических месторождения—Зырянское, 2-е Греховское и Снегиревское. Рудные тела залегают в верхах ревнюшинской и низах маслянской свит, представленных, в основном, кварцево-хлорито-серпичитовыми сланцами, микрокварцитами и плотными известковистыми и кремнистыми алевролитами с редкими прослоями известняков. Основными рудными минералами являются: галенит, сфалерит, халькопирит, пирит.

По вещественному составу руды Зырянского месторождения относятся к полиметаллическим. Отмечается два основных типа: сплошные сульфидные руды и вкрапленные. Сплошные сульфидные руды образуют линзо- и жиллообразные тела весьма невыдержанной мощности. Эти тела большей частью связаны с тектоническими разломами. Вкрапленное оруденение связано с зонами интенсивного расщелачивания. Тела вкрапленных руд имеют линзообразную форму с широким простиранием и крутым (60—90°) падением на юг или север.

Руды 2-го Греховского и Снегиревского месторождений по вещественному составу относятся к полиметаллическим и медноколчеданным. По характеру оруденения—вкрапленные, прожилковые и сплошные. Форма рудных тел весьма сложная с выклиниваниями и пережимами. Для Снегиревского месторождения в отличие от 2-го Греховского характерна вытянутость рудных тел по падению по сравнению с длиной по простиранию. Некоторые тела представляют собой рудные столбы с диаметром до 15—20 м. Для 2-го Греховского и Снегиревского месторождений так же, как и для Зырянского месторождения, характерно крутое падение рудных тел. Простирание их субмеридиональное.

Промышленная разведка месторождений осуществляется комплексом подземных горных выработок и скважин. На уровне основных эксплуатационных горизонтов находятся штреки, из которых все рудные зоны пересекаются разведочными ортами через 60 м. Между ортами бурятся горизонтальные скважины. Штреки обычно крепятся бетоном или торкретом. К настоящему времени на месторождениях имеется значительное количество горизонтальных горных выработок, закрепленных торкретом, требующих переопробования в связи со снижением бортового содержания.

При таких сложных прерывистых рудных телах часто орты и скважины, пересекая рудную зону, не встречают рудных тел, которые ос-

таются между ортами или скважинами. К тому же вблизи подготовительных и капитальных выработок, на участках с редкой разведочной сетью, не исключена возможность выявления ранее не известных промышленных рудных тел.

В связи с этим возникает необходимость опосредования околорудового и околоскважинного пространства с целью обнаружения новых рудных тел. В выработках, закрепленных торкретом, необходимо выявлять перспективные на оруденение участки для дальнейшего их опробования. Кроме того, следует изучить электромагнитные свойства вмещающих горных пород и руд с целью определения перспектив применения метода радиоволнового просвечивания.

Для решения этих задач и применяется метод ДЭМП.

Работа проводится с аппаратурой АЭММ—3 и АЭММ—3С на четырех фиксированных частотах—2048, 512, 128 и 32 кгц. В горных выработках применяются рамочные магнитные диполи, а в скважинах и магнитные и электрические.

Исследования проводятся как в необорудованных, так и в оборудованных горных выработках. Естественно, наиболее четкие результаты получаются в первых. Однако и в оборудованных выработках получаются неплохие записи, особенно при работах по выявлению перспективных участков под слоем торкрета. Наибольшие помехи от искусственных проводников наблюдаются на графиках, получаемых с установками  $H_y^y$  и  $H_z^z$ . В некоторых выработках с установкой  $H_y^y$  вообще нельзя работать, так как в аппаратуре мал предел измерений. Для уменьшения сигнала на приемную рамку наматывается провод и концы его соединяются\*. С таким проводом сигнал уменьшается в несколько раз, что позволяет проводить исследования с установкой  $H_y^y$ .

Искусственные проводники, находящиеся на стенке горной выработки, не влияют на результаты измерений с установкой  $H_x^x$ . При работах с установками  $H_y^y$  и  $H_z^z$  влияние провода проявляется в виде положительных аномалий. В горных выработках в зависимости от стоящих задач применяется одна, две или все три установки  $H_x^x$ ,  $H_y^y$ ,  $H_z^z$ . Поиски рудных тел обычно осуществляются с установками  $H_z^z$  и  $H_y^y$ , а для выделения перспективных участков над слоем торкрета и определения электромагнитных свойств применяется установка  $H_x^x$ . Основной объем работ проводится на частотах 2048 и 512 кгц, так как вкрапленные руды имеют значительное сопротивление (до 200—300 и даже до 700—800 ом) при сопротивлении вмещающих пород от 1500 до 5300—15000 ом. Применяются установки длиной от 10—40 до 90—100 м и в редких случаях до 150—200 м.

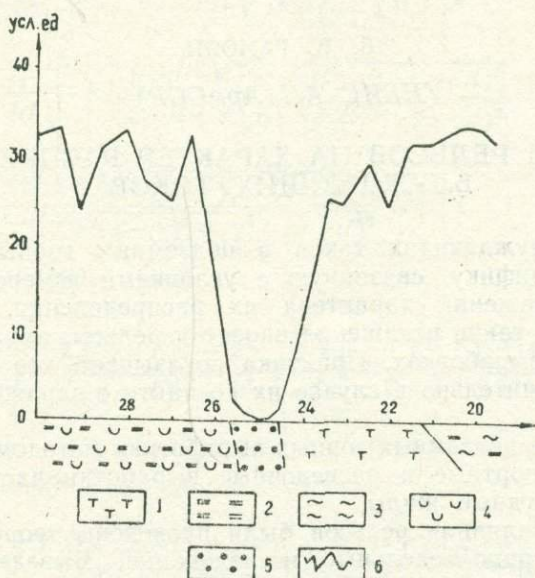
Методом ДЭМП обследовано значительное число горных выработок. Выявлено несколько аномалий, представляющих практический интерес.

На рисунке приведены результаты, полученные в Снегиревской штольне. Наблюдения проводились при вертикальном положении питающего диполя на частоте 2048 кгц и на разnose 20 м. Измерялась амплитуда вертикальной составляющей магнитного поля. Точка записи относилась к середине установки.

На графике  $H_z^z$  при фоне 25—32 усл. ед. четким минимумом (0,5—1,0 усл. ед.) фиксируется аномалия на пикетах 24,6—25,7. До производства геофизических работ на этом участке рудной минерали-

\* Это не что иное как замкнутый соленоид, представляющий несовершенный экран. (Прим. ред.).

зации не отмечалось. После изучения этого участка рудничными геологами выяснилось, что данная аномалия вызвана медноколчеданым рудным телом с отдельными пробами до 15,2% меди. В настоящее время проводятся работы по выявлению этого рудного тела на нижних горизонтах.



Результаты дипольного электромагнитного профилирования по Снегиревской штольне

- 1—туфы кислого состава; 2—глинистые сланцы; 3—серицитизация; 4—хлоритизация; 5—рудное тело, выделенное по геофизическим данным; 6—график  $H_z-H_z$ ,  $f=2048$  кГц.

При поисках перспективных на оруденение участков в выработках под слоем торкрета также получают хорошие результаты. Так, на 9 горизонте Зырянского месторождения в пределах исследованных 1460 м горных выработок выявлено 9 аномальных участков. Два из них соответствовали известным рудным подсециям, а остальные 7 считались перспективными на оруденение и рекомендовались к опробованию. К настоящему времени опробован один участок, в котором отмечается полиметаллическая минерализация.

В заключение надо отметить, что большой опыт проведения ДЭМП на месторождениях Зырянского района и полученные положительные результаты позволяют рекомендовать постановку таких работ по всем горным выработкам в аналогичных условиях и на других месторождениях. Следует, однако, иметь в виду, что для более успешного применения ДЭМП необходима разработка количественных методов интерпретации. В аппаратуре АЭММ—3 и АЭММ—3С надо увеличить верхний предел измерений.

В. Б. ГАМОЯН

(ИГИС АН АрмССР)

## О ВЛИЯНИИ РЕЛЬСОВ НА ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

Изучение блуждающих токов в подземных горных выработках имеет свою специфику, связанную с условиями измерений, а также с наличием искажений характера их распределения.

В частности, такие искажения вносят и рельсы, имеющиеся в подземных горных выработках. Практика показывает, что влияние рельсов особенно значительно в случае их контакта с заряженными объектами.

При работе в подземных горных выработках методом блуждающих токов [1] транспортные и разведочные выработки часто пересекают одни и те же рудные жилы.

Для оценки влияния рельсов были проведены теоретические расчеты и лабораторно-модельные исследования. Выведены формулы, определяющие влияние рельса на кривые потенциала и градиента потенциала поля заряженной пластины.

Рассмотрено поле прямоугольной, вертикально расположенной пластины, имеющей контакт с линейным горизонтально расположенным проводником, через которые в окружающую среду проходит ток  $I$ . Среда предполагается однородной, изотропной, с удельным сопротивлением  $\rho$ .

Длиной пластины  $2l$  является ее протяженность по простиранию, шириной  $2d$  — протяженность по падению. Мощность пластины принималась бесконечно малой, длина линейного проводника —  $2L$ , угол между линейным проводником и пластиной —  $\alpha$ .

Расположим прямоугольную систему координат таким образом, чтобы начало ее находилось в точке пересечения пластины с линейным проводником, ось  $Y$  шла по направлению простирания пластины, ось  $Z$  — вертикально (снизу вверх), ось  $X$  — перпендикулярно к ним. Буквами  $x, y, z$  обозначим координаты точек определения поля, а  $\xi, \eta, \zeta$  — текущие координаты, лежащие на проводниках.

Получим следующую формулу для потенциала поля от комплекса проводников [3,4]:

$$U = \frac{\rho}{8\pi} \left\{ \frac{I_1}{L} \ln \frac{y+L + \sqrt{x^2 + (y+L)^2 + z^2}}{y-L + \sqrt{x^2 + (y-L)^2 + z^2}} + \right. \\ \left. + \frac{I_2}{ld} \int_0^l \ln \frac{z+d + \sqrt{(x+\eta \sin \varphi)^2 + (y-\eta \cos \varphi)^2 + (z+d)^2}}{z-d + \sqrt{(x+\eta \sin \varphi)^2 + (y-\eta \cos \varphi)^2 + (z-d)^2}} \times \right. \\ \left. \times \frac{z+d + \sqrt{(x-\eta \sin \varphi)^2 + (y+\eta \cos \varphi)^2 + (z+d)^2}}{z-d + \sqrt{(x-\eta \sin \varphi)^2 + (y+\eta \cos \varphi)^2 + (z-d)^2}} d\eta \right\}, \quad (1)$$

где  $\varphi$  — угол падения пластины;  $I_1 + I_2 = I$ .

В частных случаях потенциал и градиент потенциала определяются более простыми формулами:

1) при  $\varphi = 90^\circ$

$$U = \frac{\rho}{8\pi} \left\{ \frac{I_1}{L} \ln \frac{y+L + \sqrt{x^2 + (y+L)^2 + z^2}}{y-L + \sqrt{x^2 + (y-L)^2 + z^2}} + \right. \\ \left. + \frac{I_2}{ld} \int_0^l \ln \frac{z+d + \sqrt{(x+\eta)^2 + y^2 + (z+d)^2}}{z-d + \sqrt{(x+\eta)^2 + y^2 + (z-d)^2}} \times \right. \\ \left. \times \frac{z+d + \sqrt{(x-\eta)^2 + y^2 + (z+d)^2}}{z-d + \sqrt{(x-\eta)^2 + y^2 + (z-d)^2}} d\eta \right\}; \quad (2)$$

2) при  $\varphi = 90^\circ$  и  $x=0$

$$U = \frac{\rho}{8\pi} \left\{ \frac{I_1}{L} \ln \frac{y+L + \sqrt{(y+L)^2 + z^2}}{y-L + \sqrt{(y-L)^2 + z^2}} + \frac{2I_2}{ld} \int_0^l \ln \frac{z+d + \sqrt{\eta^2 + y^2 + (z+d)^2}}{z-d + \sqrt{\eta^2 + y^2 + (z-d)^2}} d\eta \right\}; \quad (3)$$

3) при  $\varphi = 90^\circ$  и  $y=0$

$$U = \frac{\rho}{8\pi} \left\{ \frac{I_1}{L} \ln \frac{L + \sqrt{x^2 + L^2 + z^2}}{-L + \sqrt{x^2 + L^2 + z^2}} + \frac{I_2}{ld} \int_0^l \ln \frac{z+d + \sqrt{(x+\eta)^2 + (z+d)^2}}{z-d + \sqrt{(x+\eta)^2 + (z-d)^2}} \times \right. \\ \left. \times \frac{z+d + \sqrt{(x-\eta)^2 + (z+d)^2}}{z-d + \sqrt{(x-\eta)^2 + (z-d)^2}} d\eta \right\}; \quad (4)$$

4) при  $\varphi = 90^\circ$  и  $z=0$

$$U = \frac{\rho}{8\pi} \left\{ \frac{I_1}{L} \ln \frac{y+L + \sqrt{x^2 + (y+L)^2}}{y-L + \sqrt{x^2 + (y-L)^2}} + \right. \\ \left. + \frac{I_2}{ld} \int_0^l \ln \frac{d + \sqrt{(x+\eta)^2 + y^2 + d^2}}{-d + \sqrt{(x+\eta)^2 + y^2 + d^2}} \times \frac{d + \sqrt{(x-\eta)^2 + y^2 + d^2}}{-d + \sqrt{(x-\eta)^2 + y^2 + d^2}} d\eta \right\}; \quad (5)$$

5) при  $\varphi = 90^\circ$ , по оси  $y(z=x=0)$

$$U = \frac{\rho}{8\pi} \left\{ \frac{I_1}{L} \ln \frac{y+L}{y-L} + \frac{2I_2}{ld} \int_0^l \ln \frac{d + \sqrt{\eta^2 + y^2 + d^2}}{-d + \sqrt{\eta^2 + y^2 + d^2}} d\eta \right\}; \quad (6)$$

$$\frac{\partial U}{\partial y} = -\frac{\rho}{L\pi} \left\{ \frac{I_1}{y^2 - L^2} + \frac{I_2}{l} \int_0^l \frac{y d\eta}{(\eta^2 + y^2) \sqrt{\eta^2 + y^2 + d^2}} \right\}. \quad (7)$$

Выведенные формулы, характеризующие распределение электрического поля заряженной пластины, имеющей контакт с линейным проводником, могут использоваться для определения влияния рельсов

в горных выработках при работе методом заряда. Их можно применять и при изучении распределения блуждающих токов, когда источник поля имеет непосредственный контакт с пластообразной залежью.

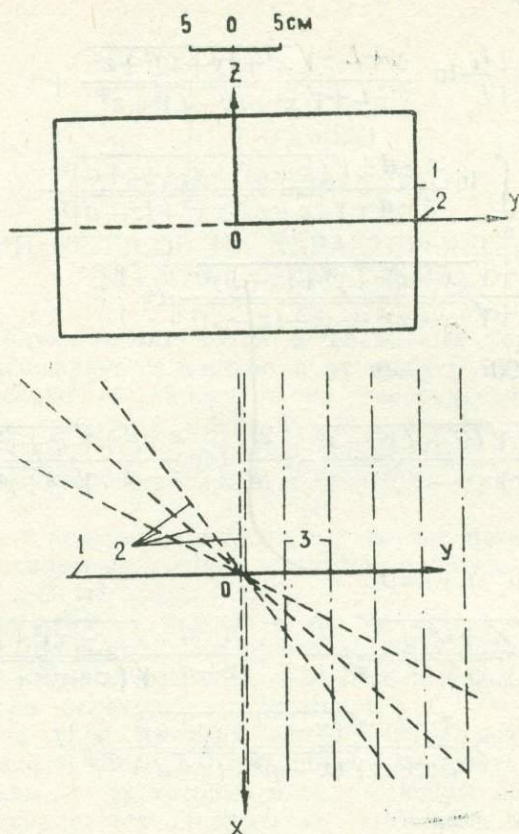


Рис. 1. Схема моделирования для определения влияния рельса на величину параметров  $\Psi$  и  $\Psi'$  при работе методом блуждающих токов в подземных горных выработках. 1—заряженная медная пластинка; 2—линейный проводник; 3—профили наблюдения

Лабораторно-модельные работы проводились в электролитическом баке, заполненном раствором медного купороса с концентрацией 7,56 г/л и с удельным электрическим сопротивлением 30 ом. Руководствуясь принципами аналогового моделирования, подобраны параметры модели [2]. Рудную залежь имитировала медная пластинка размерами  $40 \times 25 \times 0,2$  см, рельс—медная проволока длиной 300 см и диаметром 0,5 мм. Пластинка с укрепленной на ней проволокой располагалась в центре бака на глубине 60 см в вертикальном положении. Медная проволока пересекала пластинку в центре ее, под углом 30, 45 и 60°. Модель заряжалась от положительного полюса источника постоянного тока. Отрицательный полюс источника присоединялся к «бесконечно» удаленному электроду, расположенному за пределами бетонного бака с удельным сопротивлением стенок и основания 280 ом. Наблюдения проводились на уровнях  $z=1; 12,5; 22,5; 32,5$  см по профилям, перпендикулярным к пластинке, при  $y=0; 5; 10; 15; 20; 25$  см (рис. 1).

Имея конечную цель изучить поведение параметров  $\Psi^*$  и  $\Psi'^{**}$ , при лабораторных исследованиях на двух (базисной и полевой) точках одновременно определялись потенциалы  $U_{n1}$ ,  $U_{n2}$ ,  $U_{\delta 1}$  и  $U_{\delta 2}$ , при токах  $I_1$  и  $I_2$ . Наблюдения потенциалов проводились по отношению к «бесконечно» удаленной точке ( $N_\infty$ ), расположенной также за пределами бака на противоположной стороне от «бесконечно» удаленного питающего электрода  $B_\infty$ .

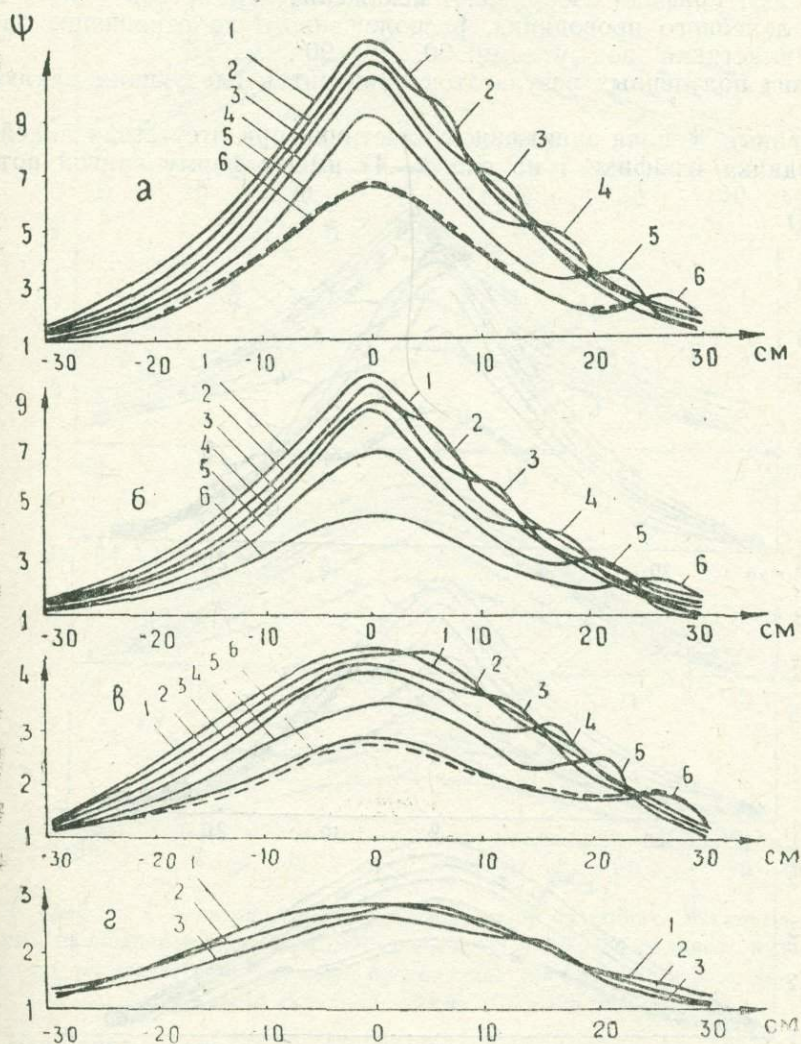


Рис. 2. Графики  $\Psi$  электрического поля заряженной пластинки, искаженного линейным проводником, при  $\varphi=30^\circ$ : а) при  $z=1$  см; б)  $z=12,5$  см; в)  $z=22,5$  см; г)  $z=32,5$  см.

1— $y=0$ ; 2— $y=5$  см; 3— $y=10$  см; 4— $y=15$  см; 5— $y=20$  см; 6— $y=25$  см.

\* Отношение приращений потенциалов блуждающих токов полевой точки к базисной при работе трехэлектродной потенциальной установкой метода БТ.

\*\* Отношение приращений градиентов потенциалов блуждающих токов полевой точки к базисной при работе трехэлектродной градиентной установкой метода БТ.

Параметры  $\Psi$  и  $\Psi'$  вычислялись по формулам:

$$\Psi = \frac{\delta U_n}{\delta U_6} \quad \text{и} \quad \Psi' = \frac{\delta \cdot U_i}{\delta \cdot U_{i-1}},$$

где  $i$ —номер точки стояния электрода  $M_2$  градиентной трехэлектродной установки ( $M_1 M_2 N_\infty$ ) [1].

На рис. 2—5 представлены кривые  $\Psi$  и  $\Psi'$ , полученные лабораторными наблюдениями и расчетами по формуле (4), при помощи ЭВМ «Минск—22». Графики изображают искажение параметров  $\Psi$  и  $\Psi'$  при наличии линейного проводника, расположенного по отношению заряженной пластинки под углами 30, 45, 90°.

Анализ полученных результатов приводит к следующим заключениям:

1. Кривые  $\Psi$  поля заряженной пластинки при отсутствии линейного проводника (графики 1 на рис. 2—4) имеют форму кривой потен-

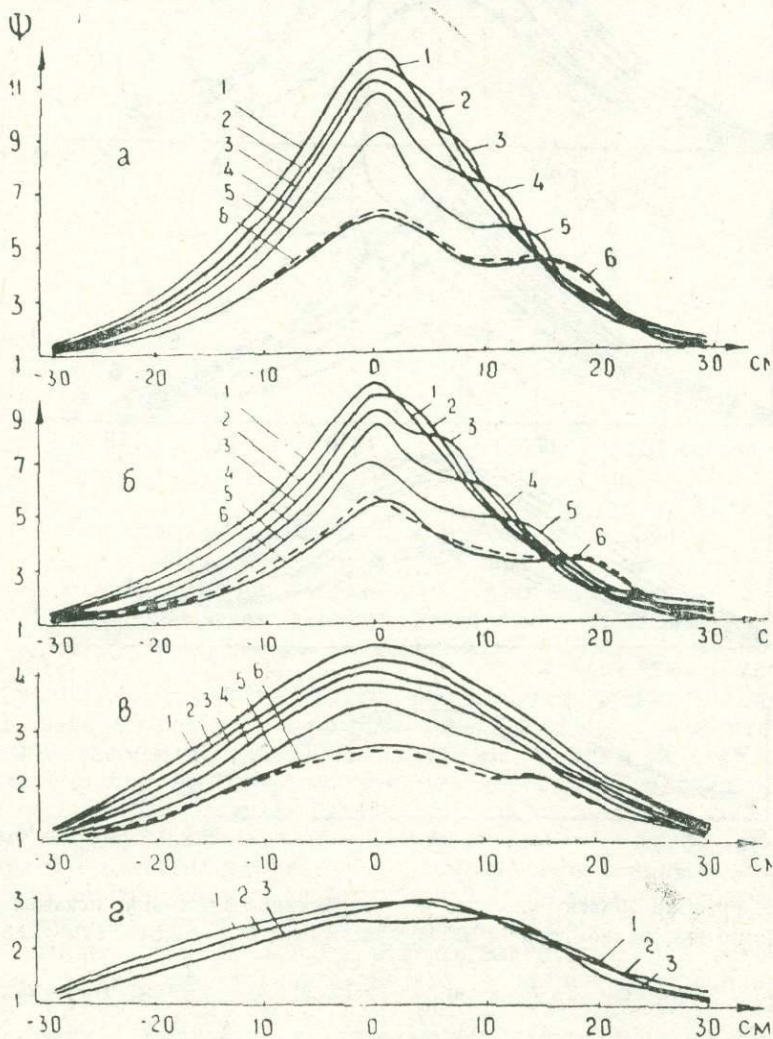


Рис. 3. Графики электрического поля заряженной пластинки, искаженного линейным проводником, при  $\varphi=45^\circ$ . Обозначение оцифровки дано в подписях к рис. 2.

циала и отличаются от нее тем, что все значения нормированы по приращению потенциала на базисной точке.

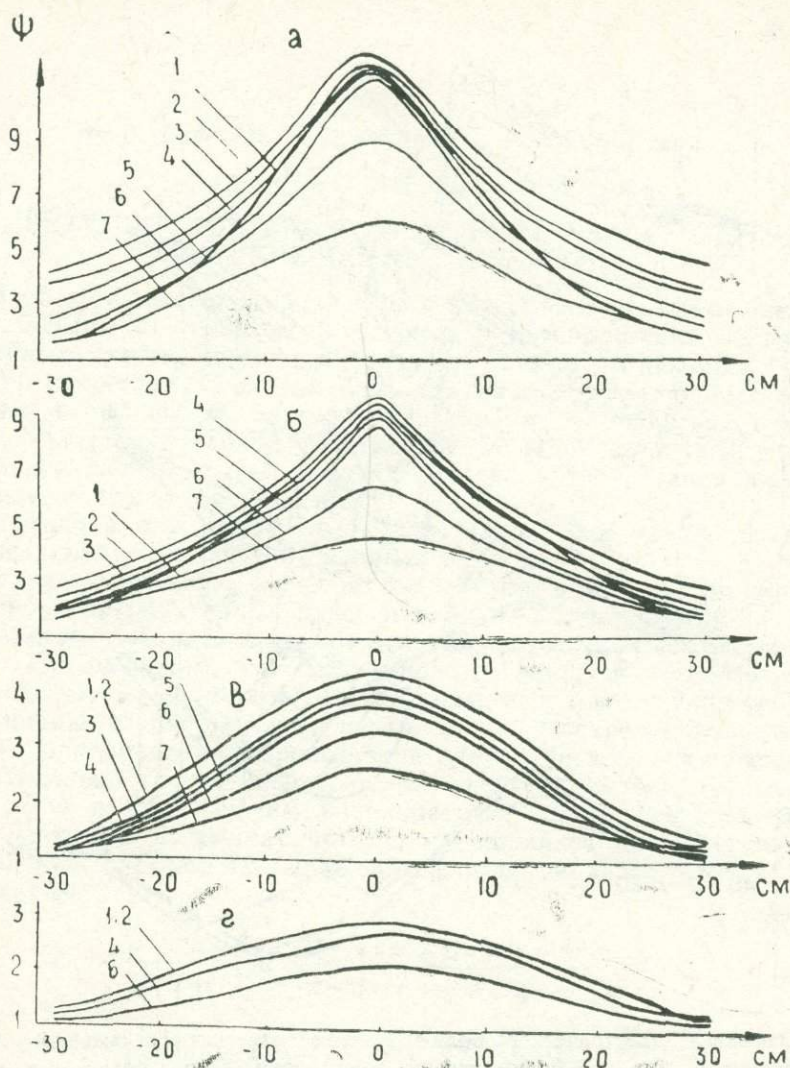


Рис. 4. Графики  $\Psi$  электрического поля заряженной пластинки, искаженного линейным проводником при  $\varphi=90^\circ$ . Обозначение а-г дано в подписях к рис. 2.

1— $y=0$  (при отсутствии линейного проводника); 2— $y=0$ ; 3— $y=5$  см; 4— $y=10$  см; 5— $y=15$  см; 6— $y=20$  см; 7— $y=25$  см.

Искажение кривой  $\Psi$  характеризуется локальной положительной аномалией над линейным проводником. Оно меняется по интенсивности и характеру в зависимости от угла между линейным проводником и пластинкой: при  $\varphi=30^\circ$  и  $45^\circ$  кривая характеризуется повышением значений  $\Psi$  в районе линейного проводника. При  $\varphi=90^\circ$  аномалия  $\Psi$  от заряженной пластинки (графики 2—6 на рис. 4) пологая и имеет большие размеры по сравнению с аномалией, полученной при отсутствии линейного проводника (графики 1).

2. Графики  $\Psi'$  поля заряженной пластинки при отсутствии линейного заряженного проводника (графики 1 на рис. 5) имеют форму кривой градиента потенциала и отличаются от последней скачкообраз-

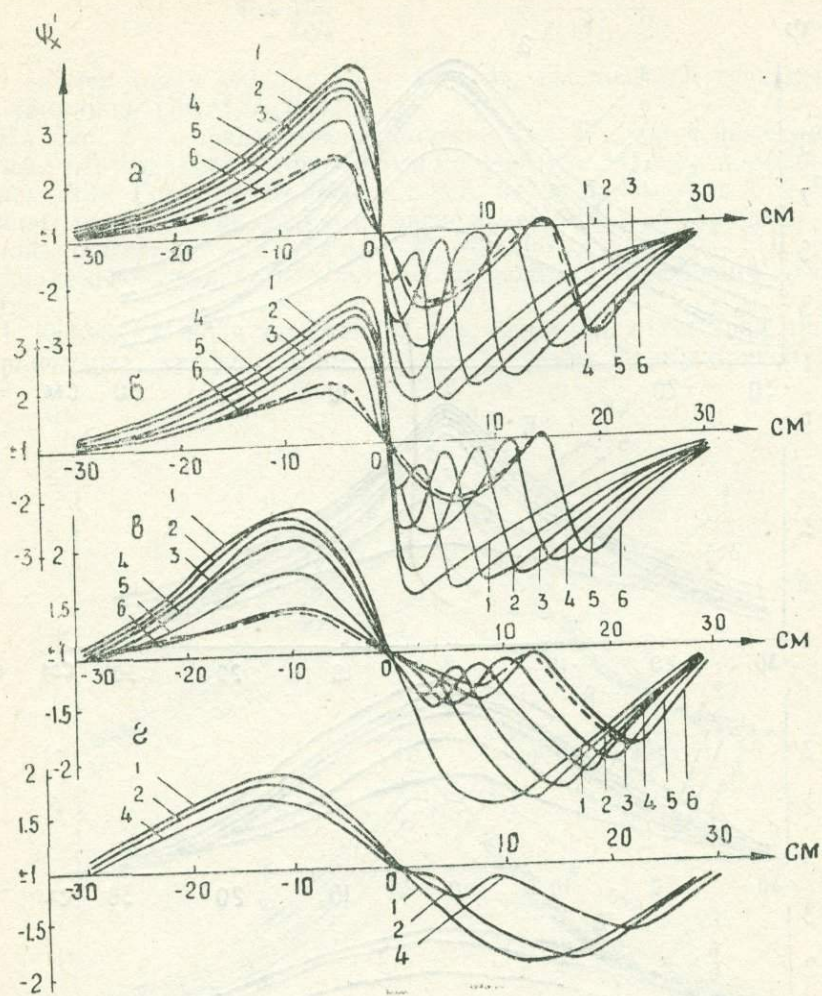


Рис. 5. Графики  $\Psi'$  электрического поля заряженной пластинки, искаженного линейным проводником, при  $\varphi=30^\circ$ . Обозначение оцифровки дано в подписях к рис. 2.

ным переходом в промежутке  $\Psi'=1 \div -1$ . Искажение параметра  $\Psi'$  характеризуется резким изменением кривой над линейным заряженным проводником при  $\varphi=30$  и  $45^\circ$  и выполаживанием ее при  $\varphi=90^\circ$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гамоян В. Б. Некоторые вопросы метода блуждающих токов.—«Материалы Третьей республиканской научной конференции молодых научных работников Армении, посвященной 100-летию со дня рождения В. И. Ленина». Ереван, Изд. АН АрмССР, 1970.
2. Герштейн Г. М. Моделирование полей методом электростатической индукции. М., «Наука», 1970.
3. Семенов А. С. Электрическое поле однородно-заряженной прямоугольной пластинки.—В кн. «Геофизическая разведка рудных месторождений». М., Госгеолтехиздат, 1973.
4. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. М., «Наука», 1966.

В. Б. ГАМОЯН, С. В. БАДАЛЯН, Е. М. ЛУЛЕЧЯН

(ИГИС АН АрмССР)

## ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ ОДНОРОДНО-ЗАРЯЖЕННЫХ ПЕРЕКРЕЩЕННЫХ ПЛАСТИН

Одной из важнейших задач в развитии геофизической разведки является повышение точности геологической интерпретации геофизических данных. Однако прямые и обратные задачи, являющиеся основой такой интерпретации, решены лишь для объектов правильных геометрических форм (сфера, цилиндр, пластина и др.) [4]. На практике часто наблюдаются сложные геофизические поля, связанные с объектами неправильной формы. В этих случаях интерпретация аномалий вызывает большие затруднения.

Настоящая статья посвящена изучению распределения полей однородно-заряженных перекрещенных пластин.

Для теоретических расчетов рассмотрим поле двух прямоугольных однородно-заряженных пластин длиной  $2l$  и шириной  $2d$ , через которые в окружающую среду с удельным сопротивлением  $\rho$  проходит ток  $I$ . Предположим, что среда является однородной и изотропной.

Расположим прямоугольную систему координат таким образом, чтобы начало ее находилось в центре линии перекрещивания пластин, ось  $Y$  — по направлению простирания одной (первой) из пластин, ось  $Z$  — вертикально (снизу вверх), ось  $X$  — перпендикулярно к ним. Буквами  $x, y$  и  $z$  обозначим координаты точки определения поля, а  $\xi, \eta, \zeta$  — текущие координаты точек, находящихся на пластинках.

Получим следующие выражения для потенциалов первой и второй пластин:

$$U_1 = \frac{I\rho \cdot \sin \alpha}{32\pi \cdot l \cdot d} \int_{-l}^l \ln \frac{-z + d \csc \alpha + x \operatorname{ctg} \alpha + \csc \alpha}{-z - d \csc \alpha + x \operatorname{ctg} \alpha + \csc \alpha} \times \\ \times \frac{\sqrt{(x - d \cos \alpha)^2 + (y - \eta)^2 + (z + d \sin \alpha)^2}}{\sqrt{(x - d \cos \alpha)^2 + (y - \eta)^2 + (z - d \sin \alpha)^2}} d\eta; \quad (1)$$

$$U_2 = \frac{I\rho \cdot \sin \alpha}{32\pi l d} \int_{-l \cos \varphi}^{l \cos \varphi} \ln \frac{-z + d \csc \alpha + x \operatorname{ctg} \alpha + \csc \alpha}{-z - d \csc \alpha + x \operatorname{ctg} \alpha + \csc \alpha} \times \\ \times \frac{\sqrt{(x - d \cos \alpha - \eta \sin \alpha \cdot \sin \varphi)^2 + (\varphi - \eta \cos \varphi)^2 + (z + d \sin \alpha - \eta \cos \alpha \cdot \sin \varphi)^2}}{\sqrt{(x - d \cos \alpha - \eta \sin \alpha \cdot \sin \varphi)^2 + (\varphi - \eta \cos \varphi)^2 + (z - d \sin \alpha - \eta \cos \alpha \cdot \sin \varphi)^2}} d\eta; \quad (2)$$

где  $I$  — ток заряда;  
 $\rho$  — удельное электрическое сопротивление среды;  
 $\alpha$  — угол падения пластин;  
 $\varphi$  — угол между пластинками.

Потенциал общего поля от двух перекрещенных пластин будет выражаться формулой

$$U = U_1 + U_2.$$

Для некоторых частных случаев общий потенциал выражается более простыми формулами:

1. при вертикальном положении пластин ( $\alpha = 90^\circ$ )

$$U = \frac{I\rho}{32\pi ld} \left[ \int_{-l}^l \ln \frac{-z+d+\sqrt{x^2+(y-\eta)^2+(z+d)^2}}{-z-d+\sqrt{x^2+(y-\eta)^2+(z-d)^2}} d\eta + \int_{-\text{icos}\varphi}^{\text{icos}\varphi} \ln \frac{-z+d+\sqrt{(x-\eta\sin\varphi)^2+(y-\eta\cos\varphi)^2+(z+d)^2}}{-z-d+\sqrt{(x-\eta\sin\varphi)^2+(y-\eta\cos\varphi)^2+(z-d)^2}} d\eta \right]; \quad (3)$$

2) при  $\alpha = 90^\circ$  и  $x = 0$

$$U = \frac{I\rho}{32\pi l \cdot d} \left[ \int_{-l}^l \ln \frac{-z+d+\sqrt{(y-\eta)^2+(z+d)^2}}{-z-d+\sqrt{(y-\eta)^2+(z-d)^2}} d\eta + \int_{-\text{icos}\varphi}^{\text{icos}\varphi} \ln \frac{-z+d+\sqrt{(\eta\sin\varphi)^2+(y-\eta\cos\varphi)^2+(z+d)^2}}{-z-d+\sqrt{(\eta\sin\varphi)^2+(y-\eta\cos\varphi)^2+(z-d)^2}} d\eta \right]. \quad (4)$$

Эти формулы могут быть применены при работе методом заряда. Их можно применять также при геологической интерпретации данных метода блуждающих токов [1—3].

Для наглядного представления распределения потенциала от заряженных пластообразных перекрещенных рудных тел вычислены значения потенциала по формуле (3) с использованием электронно-вычислительной машины «Минск—22» и для проверки выполнены лабораторно-модельные исследования.

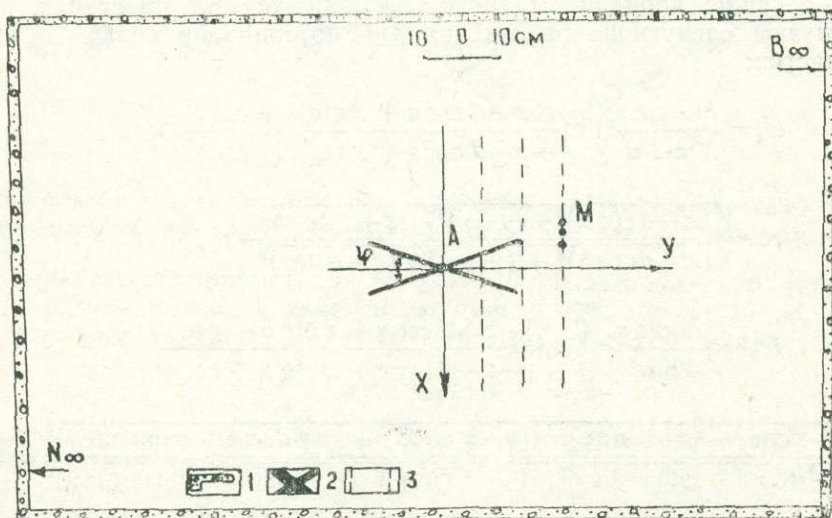


Рис. 1. Схема моделирования.

1—бетонный бак; 2—медные пластины; 3—профили наблюдения

Модельные работы проводились в электролитическом баке, заполненном водопроводной водой с удельным электрическим сопротивлением 60 ом. Моделью служили крестообразно соединенные медные пластины размерами  $40 \times 25 \times 0,2$  см. Пластины располагались вер-

тикально в центре бака на глубине 40 см от уровня воды (рис. 1). Длинная ось симметрии модели  $Y$  совмещалась с длинной стороной бака. Положительный полюс источника постоянного тока присоединялся к медным пластинам, а отрицательный—к электроду ( $B_{\infty}$ ), расположенному на большом расстоянии от бака, с удельным сопротивлением стенок и основания 280 ом. Неподвижный электрод ( $N_{\infty}$ ) приемной установки располагался также вне бака в противоположной стороне от электрода  $B_{\infty}$ . Изучение распределения поля заряженной модели проводилось на плоскостях  $z=0; 22,5; 32,5; 40$  см по профилям  $y=0; 10; 20; 30$  см, при совмещении начальной точки системы координат с центром линии перекрещивания пластин и при  $\varphi=0; 30; 45; 60^{\circ}$ .

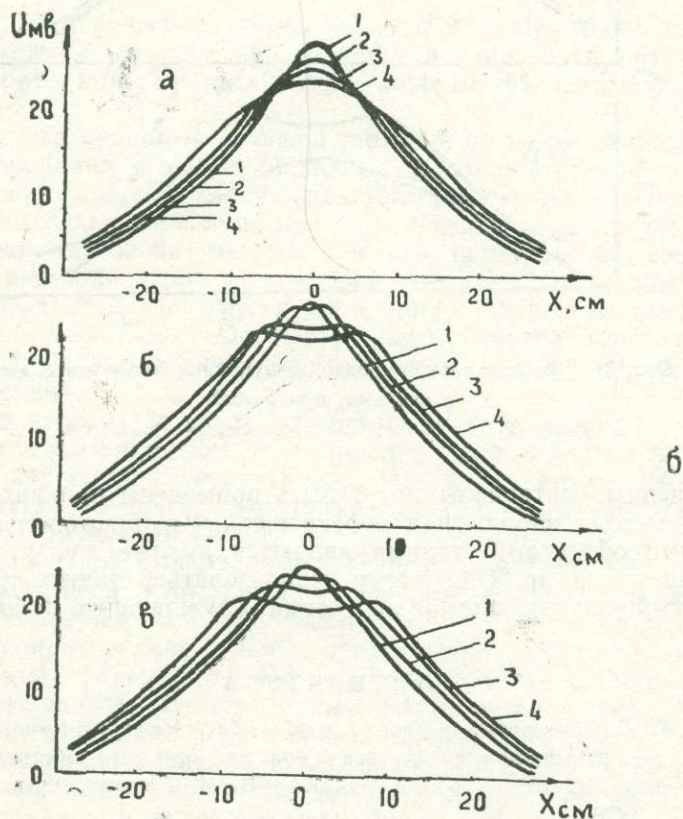


Рис. 2. Графики потенциала, полученные лабораторно-модельными исследованиями

а— $y=0$ ; б— $y=10$  см; в— $y=20$  см.

1— $\varphi=0^{\circ}$ ; 2— $\varphi=30^{\circ}$ ; 3— $\varphi=45^{\circ}$ ; 4— $\varphi=60^{\circ}$ .

На рис. 2 и 3 представлены графики потенциала, полученные на модели и расчетом. Их анализ приводит к следующим выводам:

1. При  $y=0$  графики имеют форму кривой потенциала от однородно-заряженной, вертикально расположенной пластины. Отличаются от нее тем, что по ходу увеличения значений  $\varphi$  аномалии становятся более пологими и широкими.

2. При  $\varphi=30, 45, 60^{\circ}$  и  $y=10, 20$  см кривые потенциала характеризуются двугорбой аномалией. По оси  $Y$  в интервале  $y=0-40$  см интенсивность и размеры локальных аномалий увеличиваются, затем,

по ходу удаления от заряженных пластин, локальные аномалии сливаются в общую (график 4 рис. 3).

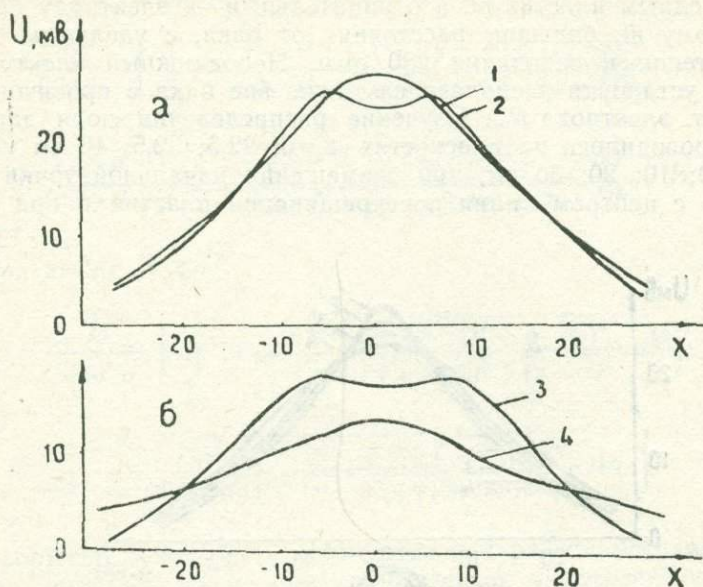


Рис. 3. Графики потенциала, полученные теоретическими расчетами, при  $\varphi=60^\circ$ .  
1— $y=0$ ; 2— $y=10$  см; 3— $y=20$  см; 4— $y=30$  см.

Полученные материалы могут быть применены при интерпретации аномалий метода заряда над перекрещенными пластообразными геологическими объектами, какими являются рудные жилы, тектонические нарушения и др. Они могут использоваться также при геологическом истолковании аномалий метода блуждающих токов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гамоян В. Б. Некоторые вопросы метода блуждающих токов.—«Материалы Третьей республиканской конференции молодых научных работников Армении, посвященной 100-летию со дня рождения В. И. Ленина». Ереван, Изд. АН АрмССР, 1970.
2. Гамоян В. Б. Применение естественных электрических полей и полей промышленных блуждающих токов в подземных горных выработках при решении поисково-разведочных задач. Автореф. канд. дис., Ереван, 1972.
3. Березин Г. И., Семенов М. В. Об использовании полей блуждающих токов для электроразведки флангов разрабатываемых месторождений.—«Методика и техника разведки», № 86, Л., ОНТИ ВИТР, 1973.
4. Заборовский А. И. Электроразведка. М., Гостоптехиздат, 1963.

В. А. МЕНЬШИКОВ, В. И. ШИБАНОВ

(ВостСибНИИГГ иМС)

## КОРРЕЛЯЦИЯ ПЛАСТОВ ВЫСОКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Метод электрической корреляции (МЭК) как один из методов изучения межскважинного пространства предназначен главным образом для корреляции проводников, к которым относится большинство руд [1].

В практике рудной и угольной геологии не менее важной является задача корреляции в межскважинном пространстве пластов высокого электрического сопротивления (пластов коксующихся углей, даек и жил высокого сопротивления и т. д.). Очень часто представление о геологическом строении межскважинного пространства составляется на основе изучения керна и каротажа скважин. Применение корреляции упрощает решение этой задачи, а достоверность геологических построений повышается. Особенно полезен метод для корреляции пластов угля и выявления малоамплитудной тектоники на угольных месторождениях.

Однако теоретические и экспериментальные основы метода разработаны главным образом для корреляции проводников и не применимы для корреляции диэлектриков. Исходя из этого, авторами сделана попытка выработки экспериментальных основ метода на базе физического моделирования.

Моделирование выполнено в баке размером  $1,5 \times 1,2 \times 1,2$  м. Моделью вмещающей изотропной однородной среды служила вода с удельным электрическим сопротивлением 80 ом, а моделью пласта высокого сопротивления—листы оргстекла ( $\rho \sim 10^{12}$  ом), текстолита ( $\rho \sim 10^{11}$  ом), фанеры ( $\rho \sim 450$  ом), картона ( $\rho \sim 232$  ом). Измерения производились со стрелочным компенсатором типа ЭСК—1.

Для интерпретации наблюдаемых кривых потенциала и его градиента, выявления локальных неоднородностей и определения их пространственного положения необходимым условием является представление о нормальном поле. Аналитические выражения для потенциала и его градиента точечного источника тока приведены в учебных пособиях.

Кривая градиента потенциала пересекает ось  $Z$  в эпицентре источника, где потенциал достигает максимума, а экспериментальные значения градиента потенциала располагаются симметрично от эпицентра источника на расстоянии, прямо пропорциональном расстоянию исследуемой скважины до источника.

Характер поля в анизотропных породах рассмотрен в [2].

Пласт высокого сопротивления вносит значительные искажения в форму кривых потенциала и его градиента. Наблюдается наложение двух кривых—нормального поля точечного источника и аномального пласта высокого сопротивления тока (рис. 1). Экспериментальные значения градиента потенциала от пласта в десятки раз превышают

экспериментальные значения нормального поля. Это обусловлено экранированием тока пластом-диэлектриком [1].

При переходе точечного источника через пласт в зарядной скважине (ЗС) кривая градиента потенциала в коррелируемой скважине (КС) меняет знак на обратный (рис. 1).

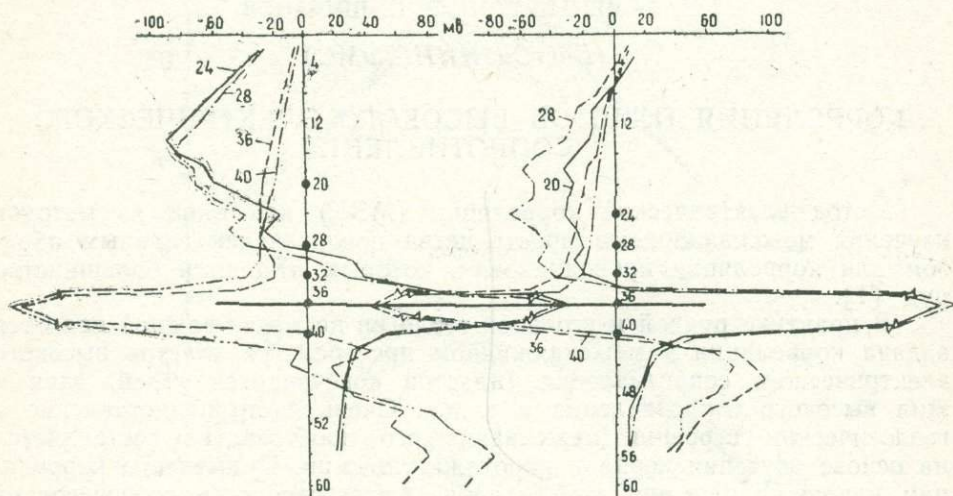


Рис. 1. Кривые градиента потенциала поля точечного источника по параллельным скважинам, секущим модель горизонтального пласта высокого сопротивления. Оцифровка кривых указывает номер точки заряда.

Положение пласта в межскважинном пространстве может определяться по особенностям формы кривых градиента потенциала и их характерных точек: положению экстремумов и точки перехода градиентов через нуль по оси  $Z$  (по КС); соотношению экстремальных значений при различных точках заряда.

**Сплошной горизонтальный пласт.** Расстояние по оси  $Z$  от точки перехода кривой градиента через нуль до пласта ( $\Delta L$ ) увеличивается по мере удаления точки заряда от пласта ( $L$ ). Следует заметить, что изменение  $\Delta l$  по мере увеличения  $L$  идет по линейному закону независимо от положения точки заряда (выше или ниже пласта) и выражается диаграммой, представленной на рис. 2,а. Максимальные значения (по абсолютной величине) градиента потенциала отмечаются над пластом высокого сопротивления и находятся примерно на одном и том же уровне (изменения в пределах 10—15%) от точек заряда, расположенных по обе стороны пласта на расстоянии, превышающем размер  $MN$  (рис. 3,а). Резкое уменьшение экстремальных значений наблюдается только при  $L < MN$ .

**Разорванный со смещением горизонтальный пласт.** Как и для сплошного пласта, расстояние по оси  $Z$  от точки перехода кривой градиента потенциала через нуль до пласта ( $\Delta l$ ) увеличивается по мере удаления точки заряда от пласта ( $L$ ). Но зависимость изменения  $\Delta l$  от  $L$  для разорванного со смещением пласта несколько иная, чем для сплошного (рис. 2,б). Во-первых, эта зависимость неодинакова при пересечении ЗС лежащего (2) и висячего (3) бока пласта. Во-вторых, увеличение  $\Delta l$  идет более интенсивно по мере удаления точки заряда в обе стороны ( $L$ ) от пласта.

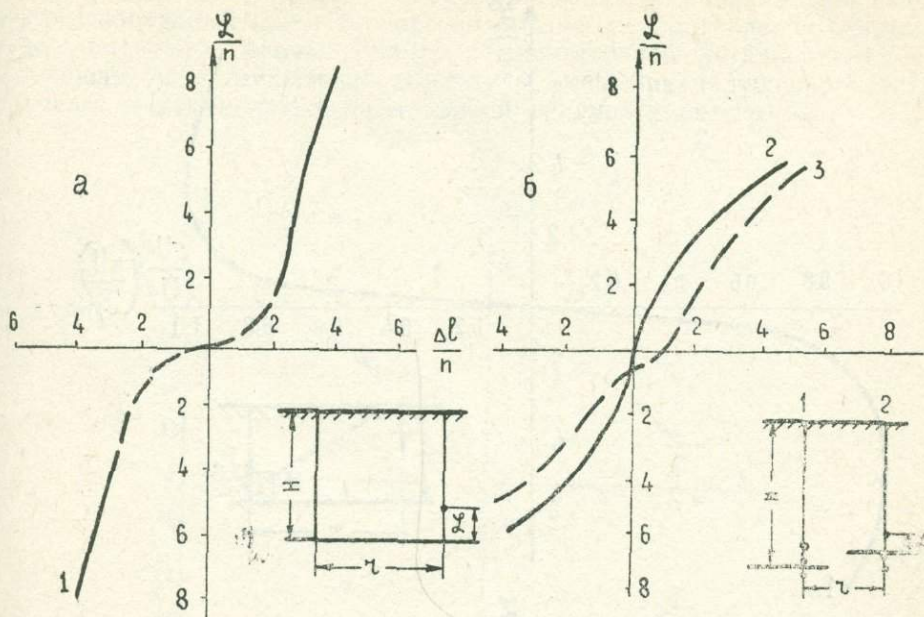


Рис. 2. Зависимость расстояния до пласта точки перехода через нуль кривой градиента потенциала в КС ( $\Delta l$ ) от положения точки заряда в ЗС, пересекающих горизонтальные сплошной (а) и разорванный (б) пласты ( $L$ ).

1, 2, 3—кривые зависимости  $\Delta l$  от  $L$  в КС при пересечении ЗС сплошного (1) и разорванного (2 для ЗС—2 и 3 для ЗС—1) пластов высокого сопротивления; значения  $\Delta l$  и  $L$  нормированы в единицах  $n$ , равной размеру приемной линии  $MN$ :  $H=31$  см,  $r=21$  см,  $n=2$  см,  $\mu \approx 10^{10}$ .

Особенно следует обратить внимание на факт сохранения знака градиента потенциала, измеряемого в КС, при переходе точек заряда через пласт в ЗС, расположенный в висячем боку.

Смена знака градиента потенциала наблюдается обычно на расстоянии  $h$  по оси  $Z$ , равном примерно амплитуде смещения разорванных блоков пласта (кривая 3, рис. 2,б).

Другой, не менее важной особенностью формы кривых градиента потенциала при наличии в межскважинном пространстве разорванного со смещением пласта высокого сопротивления является положение точки максимума (по абсолютной величине без учета знака).

При одинаковом  $\mu = \rho_2/\rho_1$  максимум градиента потенциала нарушенного пласта значительно меньше максимума градиента потенциала для сплошного (рис. 3,б). Особенно низкие значения имеет максимум градиента потенциала от точек заряда, находящихся на расстоянии менее  $2 \div 3n$ , выше лежащего (ЗС—1, кривая 2, рис. 3,б) и ниже висячего (ЗС—2, кривая 3, рис. 3,б) бока пласта.

Следует заметить, что это различие в форме кривых градиента потенциала можно использовать для корреляции пласта в межскважинном пространстве.

Для точек заряда, находящихся на расстоянии более 4 м, максимум градиента потенциала при наличии нарушенного пласта приближается к максимуму градиента потенциала для сплошного. Различие составляет не более 20% для ЗС—1, пересекающей лежащий бок пласта. Но для ЗС—2, пересекающей висячий бок пласта, максимум градиента потенциала не превышает 0,4—0,6 доли максимума градиента потенциала для сплошного пласта (кривая 3, рис. 3,б).

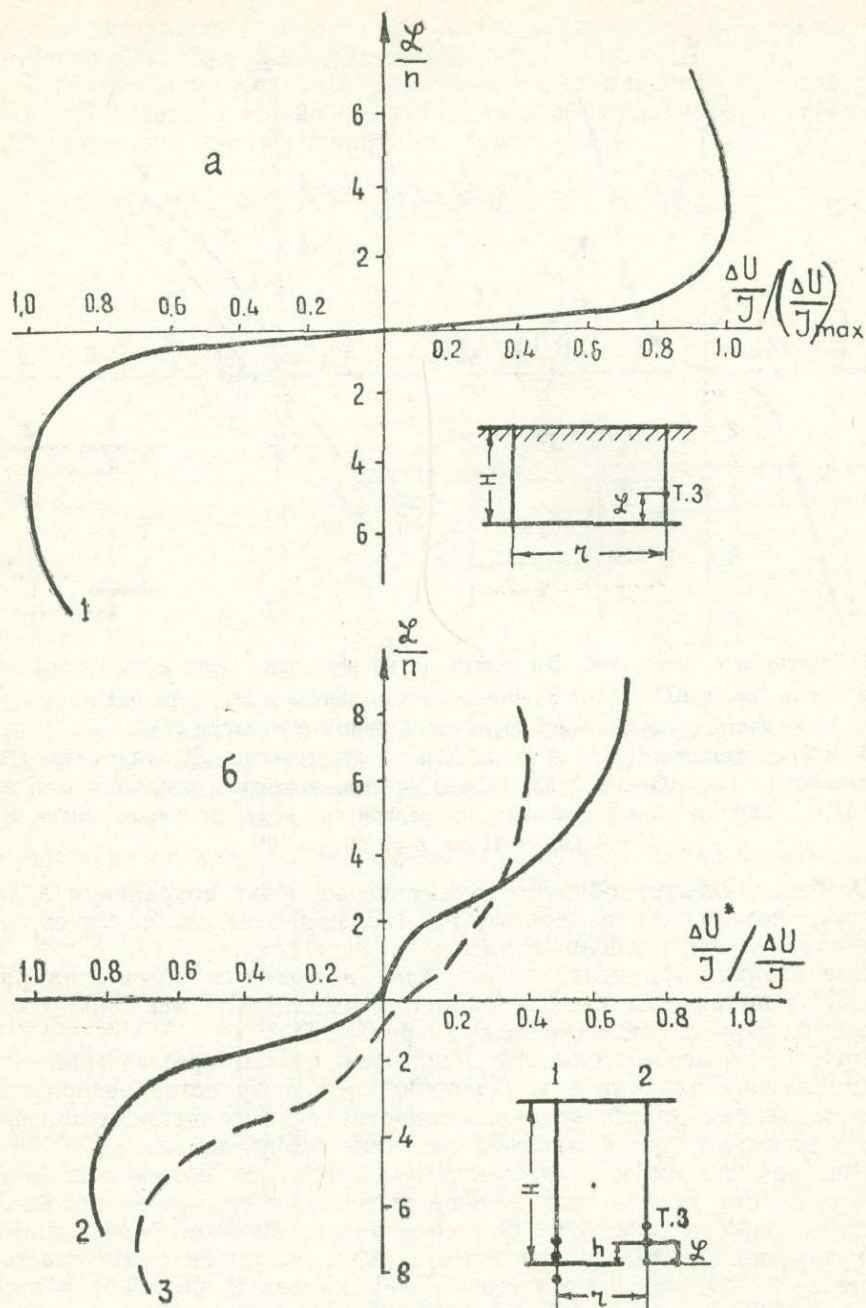


Рис. 3. Зависимость точки максимума кривых градиента потенциала в КС ( $\Delta U/I$ ) от положения точки заряда в ЭС, пересекающих горизонтальные сплошной (а) и разорванный (б) пласти.

1, 2, 3—кривые зависимости максимума  $\Delta U/I$  от  $L$  в КС, при пересечении ЗС сплошного (1) и разорванного (2 для ЗС—1 и 3 для ЗС—2) пластов высокого сопротивления: значения  $\Delta U/I$  кривой нормированы в единицах максимума ( $\Delta U/I$ )<sub>тах</sub>, значения  $\Delta U^*/I$  кривых 2 и 3 нормированы в единицах  $\Delta U/I$  для сплошного пласта, а значения  $L$ —в единицах  $n$ .  $H=31$ ,  $r=21$ ; 2 см,

Эти особенности формы кривой градиента потенциала характеризуют разорванный пласт бесконечно высокого сопротивления с амплитудой смещения, равной размеру измерительной установки  $MN=n$ . Увеличение или уменьшение амплитуды смещения нарушенного пласта ведет к изменению формы кривой градиента потенциала.

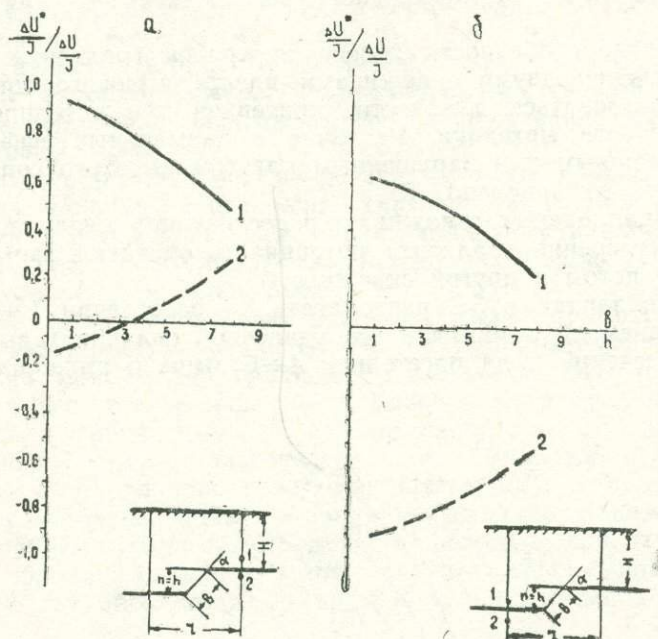


Рис. 4. Зависимость точки максимума кривых градиента потенциала в КС ( $\Delta U/I$ ) от амплитуды смещения горизонтальных пластов, пересеченных параллельными скважинами.

1—кривые  $\Delta U^*/I$ , нормированные в единицах  $\Delta U/I$  сплошного пласта, от точек заряда над пластом (положительные значения); 2—кривые  $\Delta U^*/I$ , нормированные в единицах  $\Delta U/I$  для сплошного пласта (отрицательные значения) при расположении заряда выше (а) и ниже (б) пласта;  $h$ —амплитуда смещения по сместителю, нормированная в единицах  $n$ ;  $\alpha=45^\circ$ ,  $H=21$  см,  $r=21$  см,  $n=1$  см.

Уменьшение амплитуды смещения блоков пласта повышает его экранирующее воздействие, и форма кривой градиента потенциала становится близкой к типу кривых для сплошного пласта (рис. 4). Увеличение амплитуды смещения ведет к уменьшению эффекта экранирования тока пластом и следовательно к уменьшению максимума кривой градиента потенциала.

Необходимо отметить, что изменение формы кривой и положения максимума градиента потенциала неодинаково при пересечении нарушенного пласта зарядной скважиной со стороны лежащего бока (рис. 4,б) или висячего (рис. 4,а), так же, как неодинаково для точек заряда до пласта (кривая 1, рис. 4) или ниже пласта (кривая 2, рис. 4). Кривые градиента потенциала от точки заряда до пласта, при пересечении зарядной скважиной висячего бока, и от точки заряда ниже пласта, при пересечении зарядной скважиной лежащего бока, с уменьшением амплитуды смещения приближаются к кривым градиента потенциала для сплошного пласта. Даже значительное увеличение амплитуды

смещения пласта приводит к незначительному уменьшению максимума градиента потенциала. Максимум уменьшается в два раза только при амплитуде смещения в  $8n$ .

Если амплитуда смещения блоков пласта  $3n$  и более, кривая градиента потенциала при переходе точек заряда через пласт в ЗС—2 не меняет знака на обратный, а в ЗС—1 меняет, но максимум градиента потенциала не превышает трети максимума для сплошного пласта.

Описанные особенности поведения кривой градиента потенциала при пересечении двумя скважинами пласта высокого сопротивления могут использоваться в качестве критериев при интерпретации.

**Особенности методики.** Различие в аномальных эффектах, вызванных сплошным или нарушенным пластом высокого сопротивления, может быть установлено, если:

— в параллельных скважинах, пересекающих пласт, провести поочередно измерения градиента потенциала, от точки заряда сначала в одной, а потом в другой скважине;

— точки заряда в ЗС располагать на расстоянии  $1 \div 2n$  (равном размеру приемной линии или его удвоенной величине) выше и ниже пластопересечений и на расстоянии  $4 \div 6$  выше и ниже пластопересечений.

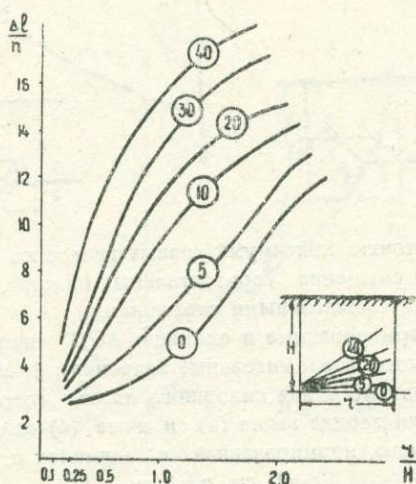


Рис. 5. Номограмма для определения точки перехода кривой градиента потенциала через нуль в КС ( $\Delta I$ ), пересекающей пласт высокого сопротивления.

Шифр кривых—угол наклона пласта к горизонту (значения  $\Delta I$  нормированы в  $n$ , значения  $r$  в единицах  $H$ ,  $H = \text{const} = 20$  см,  $n = 1$  см,  $\mu \approx 10^{10}$ ).

На коррелируемость пластопересечений (принадлежность их одному и тому же пласту) указывают:

— изменение знака градиента потенциала на обратный от точек заряда выше и ниже пластопересечений по каждой скважине;

— близкие к единице отношения экстремумов градиента потенциала от точки заряда выше и ниже пластопересечений.

Наличие разрыва сплошности пласта в межскважинном пространстве и некоррелируемость пластопересечений выявляется по:

—сохранению знака градиента потенциала от точек заряда выше и ниже пластопересечений хотя бы по одной из скважин;

—резкому уменьшению максимума градиента потенциала от ближней к пластопересечению точки заряда по сравнению с дальней.

В качестве дополнительного признака может служить точка перехода кривой градиента потенциала через нуль, положение которой определяется по номограмме (рис. 5).

Эффективность метода будет выше, чем:

—ближе расстояние между коррелируемыми скважинами;

—выше отношение электрического сопротивления пласта и вмещающей среды ( $\rho \geq 3$ ).

Поверхность раздела земля—воздух, а также наносы оказывают значительное влияние на положение характерных точек и форму кривых градиента потенциала. Искажения, вызванные влиянием наносов (мерзлоты), тем значительнее, чем больше их мощность по сравнению с глубиной источника [3].

Влияние поверхности раздела земля—воздух при отсутствии наносов сказывается в изменении положения точки перехода через нуль и отношения максимумов градиента потенциала. Чем ближе к поверхности пласт, тем меньше  $\Delta l$  и больше экстремум от точки заряда, расположенной выше, и меньше экстремум от точки заряда, расположенной ниже пластопересечения. Амплитуды экстремумов уравниваются при глубине залегания пласта ( $H$ ), в 1,5 раза превышающей расстояние между коррелируемыми скважинами ( $r$ ). На практике работы методом МЭК можно проводить при  $H=r$ , так как различие положительного и отрицательного максимумов градиента потенциала (по абсолютной величине) не превышает 20—30%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Козырин А. К., Мунтян В. М., Тарасов А. В. и др. Временное руководство по методу электрической корреляции (МЭК). Свердловск (глав. упр. ГиОН СМ СССР), 1964.
2. Семенов А. С., Вешев А. В., Фокин А. Ф. Поле точечного источника в анизотропном пространстве.—«Уч. зап. ЛГУ», № 294, 1958.
3. Шафаренко В. А., Воротников В. М. Применение скважинной геофизики при изучении тектоники угольных месторождений.—«Разведка и охрана недр», № 6, 1972.

О. Н. КУТУЗОВ, М. О. ЛАХТИОНОВ, С. М. СКОРНЯКОВ, В. В. СУЕТНОВ  
(ВНИИГаз, МГРИ, Институт физики Даг. ФАН СССР)

## О ПРИМЕНЕНИИ ТЕРМОРАЗВЕДКИ НА РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

К подземной геофизике относятся виды терморазведки, в которых датчики помещаются под землей. Измерения проводятся в шпурах (обычно глубиной 1—3 м) и в разнообразных скважинах: в поисковых и картировочных, в глубоких поисково-разведочных, а также в подземных горных выработках и скважинах подземного бурения (шахтная терморазведка). Существенно, что, используя даже неглубокие скважины и шпуры, терморазведка способна исследовать геологические объекты, находящиеся на значительных глубинах, например, структуры, содержащие залежи нефти или газа на глубинах порядка нескольких тысяч метров.

Основу применения терморазведки на месторождениях твердых полезных ископаемых составляет в первую очередь дифференцированность горных пород и полезных ископаемых по теплопроводности. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что интенсивность термоаномалий определяется при этом эффективной теплопроводностью, плотностью теплового потока, формой и размерами аномалообразующих объектов. Положительные термоаномалии возникают в верхней части рудного тела и над ним, отрицательные аномалии наблюдаются под телом и в нижней его части [4, 6]. На характер распределения теплового поля влияют особенности морфологии тел полезных ископаемых и их элементы залегания. Так, экстремальные значения положительных аномалий смещаются по падению, а отрицательных—по восстанию наклонного теплопроводящего объекта.

Применение терморазведки для поисков сульфидных руд и углей иногда может основываться на происходящих в них экзотермических процессах, но в большинстве случаев эти явления становятся помехами при терморазведке, затрудняя проведение интерпретации данных.

Предпосылками применения терморазведки для поисков месторождений нефти и газа являются перераспределение восходящего теплового потока структурными элементами, вследствие макроанизотропии пород осадочного чехла, и наличие свободной конвекции в нескрытой нефтегазоносной залежи. В настоящее время общепризнана роль структурно-литологического фактора в формировании аномалий температурного поля. Она заключается в том, что областям антиклинальных поднятий соответствуют повышенные значения температуры, геотермического градиента и плотности теплового потока, а в синклинальных областях установлены пониженные значения этих параметров [3].

Теоретическими исследованиями показано существенное влияние на тепловое поле свободной тепловой конвекции в залежах нефти и газа, которые рассматриваются как замкнутые системы. Этот подход позволил объяснить полученные экспериментально зоны пониженных

значений теплового потока, окаймляющие в плане залежи нефти и газа [7]. Установление этих зон как особого признака аномалий теплового поля над залежами углеводородов позволяет использовать терморазведку в качестве прямого метода поисков месторождений нефти и газа.

Общими для всех видов подземной терморазведки методическими принципами, обеспечивающими получение интерпретируемой информации, являются проведение наблюдений ниже слоя суточных температурных колебаний, в скважинах и подземных горных выработках с восстановившимся после проходки тепловым режимом, а также регистрация показаний при полном (с заданной точностью) восприятии датчиком температуры окружающей среды.

Терморазведка в неглубоких скважинах и шпурах позволяет достаточно быстро опознавать значительные площади. При этом в температурном поле выделяются как отдельные месторождения, так и некоторые детали их геологического строения (структурные элементы, разрывная тектоника). Экспериментально обоснованию этого варианта терморазведки во многом содействовали геотермические исследования на Войвежском нефтегазовом месторождении, выполненные в 1972—1973 гг. [5]. В результате этих работ было показано, что характер распределения аномального температурного поля на глубине 3 м, т. е. выше нейтрального слоя, над нефтесодержащей структурой сохраняется в течение всего годового периода, несмотря на то, что изменения температуры на данной глубине за этот период достигают нескольких градусов. Впоследствии эффективность этого варианта терморазведки при изучении площадей, перспективных на нефть и газ, была подтверждена в условиях Прибалтики, Удмуртии, Оренбуржья и в других районах.

Значительные возможности этого варианта терморазведки для поисков сульфидных руд и решения некоторых вопросов геокартирования (выявление и прослеживание элементов разрывной тектоники, складчатых структур, дробленных и ослабленных участков горных пород, зон гидротермального изменения) были установлены на основе многолетнего опробования в ряде районов: на Северном Кавказе, на Алтае, в Приморье, на Южном Урале, в Якутии, в Закавказье. При этом был обоснован переход на еще меньшую глубину наблюдений (около 1 м), а также получен первый положительный опыт применения этой модификации в районах развития многолетнемерзлых пород.

При терморазведке в скважинах глубиной 20—50 м, ниже слоя годовых колебаний температуры, для решения поисково-разведочных задач проводятся также измерения плотности теплового потока. Метод тепловой разведки и соответствующая аппаратура разработаны и успешно применяются Институтом физики Даг. ФАН СССР. Многолетние экспериментальные работы, проведенные этим методом на территории Дагестана, Южной Калмыкии, Саратовского Заволжья, подтвердили связь аномалий теплового потока с геологическим строением изучаемых площадей и наличием в их пределах нефтяных и газовых месторождений. При этом был выявлен ряд перспективных тепловых аномалий, уточнено строение отдельных участков. Тепловая разведка, как показал опыт ее применения, позволяет детализировать выявленные структуры, а также судить об их нефтегазоносности.

Терморазведка в глубоких скважинах и шахтная терморазведка существенно отличаются от рассмотренных выше вариантов метода, но связаны общими задачами. Основными задачами являются поиски рудных тел в стороне от подземного профиля (скважины, штольни и т. д.), геометризация рудных тел при детальной разведке и подсчете запасов, прогноз развития оруденения на глубину, подземное геокар-

тирование. В результате этих работ могут быть построены пространственные геотермические модели месторождений или отдельных рудных тел. Некоторые примеры применения этого варианта терморазведки рассмотрены в работах [2, 6].

Простота применяемой аппаратуры, оперативность получения информации, относительно малые затраты позволяют уже сейчас рекомендовать рассмотренные варианты подземной терморазведки для широкого использования. Высокая эффективность применения метода особенно отчетливо проявилась при поисках нефтегазовых месторождений. Так, при подготовке одной сруктуры экономия за счет применения метода может составить 500 тыс. руб. [1]. Одновременно значительно сокращается и время.

Все рассмотренные модификации терморазведки должны применяться в комплексе с другими поисково-разведочными методами. Благоприятные предпосылки существуют для совместного применения терморазведки с сейсморазведкой и геохимическими работами. При этом может существенно возрасти экономический эффект за счет использования при терморазведке геохимических и сейсмических скважин. В шахтном варианте установлена целесообразность комплексирования терморазведки с гравиразведкой, СДВР и ПРКИ.

Перспективными направлениями развития терморазведки являются измерения теплового потока в условиях рудных полей и месторождений, особенно в шахтном варианте, а также применение радиационных способов изучения теплового поля как непосредственно на дневной поверхности, так и в подземных горных выработках, в сухих скважинах и шпурах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Амирханов Х. И., Ровнин Л. И., Суетнов В. В. и др. Опыт нефтегазовой терморазведки. Махачкала, Изд. Даг. ФАН СССР, 1975.
2. Гинзбург С. Н., Скорняков С. М., Лахтионов М. О. Применение геотермического метода при разведке полиметаллических месторождений.—«Разведка и охрана недр», № 9, 1976.
3. Дьяконов Д. Н. Геотермия в нефтяной геологии. Гостоптехиздат, М., 1958.
4. Корытничкова Н. Н. О связи глубинных температур с техническими коэффициентами горных пород и формой глубинных структур.—«Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз.», № 3, 1943.
5. Лахтионов М. О., Работнов В. Г., Кутузов О. Н., Спиридонов В. А. Геотермические исследования в приповерхностном слое на примере Войвежского нефтегазового месторождения.—«Изв. вузов. Сер. геология и разведка», № 1, 1975.
6. Лахтионов М. О., Тархов А. Г. Опыт терморазведки на колчеданно-полиметаллических месторождениях Урала.—«Изв. вузов. Сер. геология и разведка», № 5, 1967.
7. Сардаров С. С., Суетнов В. В. Тепловой поток, формируемый нефтегазоносными структурами.—«Советская геология», № 2, 1975.

С. С. САРДАРОВ (мл.), В. В. СУЕТНОВ

(Институт физики Даг. ФАН СССР)

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НОВОГО СПОСОБА ГЕОТЕРМИЧЕСКИХ ПОИСКОВ НЕФТЯНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ СТРУКТУРНОГО ТИПА

Будем называть гидрогеологический массив замкнутым, если существует непрерывная граница, вдоль которой вектор скорости движения флюида может быть принят равным нулю. Подобные объекты существуют в природе вследствие слабой проницаемости кровли и подошвы флюидосодержащих коллекторов, а решение системы уравнений бародиффузии для бинарной смеси водо-углеводорода в пористой среде в поле тяжести показывает, что поток более легкого вещества через границу раздела экспоненциально убывает во времени. Назовем залежь сформировавшейся, если указанный поток асимптотически мал; тогда такую залежь можно рассматривать как замкнутый гидрогеологический массив. Подобные системы естественно представлять как пористый объем с несжимаемым наполнителем—флюидом (вода, нефть, газ), ограниченный непроницаемыми породами. Поскольку интерес представляют в первую очередь продуктивные залежи, постольку пористость скелета породы будем считать эффективной, при условии, когда две любые точки наполнителя можно соединить линией, не имеющей общих точек со скелетом.

Подобная система не может находиться в состоянии механического равновесия. Во-первых, потому, что восходящий тепловой поток создает в ней сложное распределение температуры, которое зависит от геометрических и термодинамических характеристик. Во-вторых, число Релея системы больше критического [4].

Рассмотрим плоскую задачу и примем, что пористая среда занимает односвязную область  $\Omega$ , а непроницаемые—границу  $\Gamma$ . Тепло-массоперенос в жидкости описывается уравнениями теплопроводности и движения при условии несжимаемости, написанными для пористой среды. Уравнение теплопроводности для пористой среды, заполненной флюидом, имеет вид [6, 7]

$$\operatorname{div} \lambda \operatorname{grad} U(\vec{x}) = \rho C_n (\vec{v}_\phi, \vec{\nabla} U), \quad x \in \Omega; \quad (1)$$

здесь  $\lambda$ —теплопроводность коллектора;

$\rho \cdot C_n$ —плотность и теплоемкость наполнителя;

$\vec{v}_\phi$ —средняя скорость фильтрации;

$U(\vec{x})$ —температура коллектора.

В качестве уравнения движения используем обобщенное уравнение Дарси [1]

$$\sum_{(i)} \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = - \frac{\eta}{K} (v_\phi)_i; \quad (2)$$

здесь  $K$  — коэффициент проницаемости среды;  
 $\eta$  — динамическая вязкость.

Тензор напряжений  $\sigma_{ij}$  имеет вид

$$\sigma_{ij} = -P\delta_{ij} + F_{ij} + \eta \left( \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right),$$

где  $P$  — давление;

$F_{ij}$  — массовые силы;

$v_i, v_j$  — компоненты поровых скоростей в отдельных струйках;

$\bar{\sigma}_{ij}$  — результат осреднения  $\sigma_{ij}$  по всем возможным струйкам.

При этом  $\bar{v}_i = (v_\phi)_i$ .

Осредняя (2), приходим к уравнению конвективного движения в пористой среде:

$$\frac{\eta}{\rho} \cdot \Delta \vec{v}_\phi + \frac{\eta}{K\rho} \vec{v}_\phi + \frac{\nabla P'}{\rho} \cdot \vec{g} \beta (U - T_0) + f \left( \frac{\eta}{\rho} \sum \frac{\partial^2 (v_\phi)_i}{\partial x_i \partial x_j} \right) = 0, \quad (3)$$

где  $P'$  — отличие давления от гидростатического;

$T_0$  — постоянная составляющая температуры;

$\beta$  — коэффициент объемного расширения;

$f$  — некоторая линейная вектор-функция;

$\vec{v}_\phi = v$  — скорость фильтрации.

Выражения (1) и (3), дополненные условиями несжимаемости

$$\operatorname{div} \vec{v}_\phi = 0, \quad (4)$$

образуют полную систему уравнений теплопереноса в пористой среде.

В качестве граничных возьмем условия прилипания

$$\vec{v}_\phi(\vec{x})_r = 0, \quad (5)$$

а на температуру наложим условия конвективного теплообмена

$$\left[ g(\vec{x}) \frac{\partial U}{\partial n} - \gamma n(\vec{x}) U - \varphi(\vec{x}) \right]_r = 0. \quad (6)$$

Решение краевой задачи (1), (3), (4), (5), (6) упрощается, если область  $\Omega$  представляет собой тонкий изогнутый слой (важный для практики случай). Слой понимается тонким в том смысле, что

$$\frac{H}{R} \equiv \varepsilon \ll 1,$$

где  $H$  — толщина слоя, а  $R = \min \rho(S)$  — минимальный радиус кривизны границы.

Используя априорные оценки, удается доказать [3], что в этом случае с точностью до  $O(\varepsilon)$  общие краевые задачи эквивалентны уравнению теплопроводности

$$\operatorname{div} \lambda \operatorname{grad} U = 0$$

с условием конвективного теплообмена вдоль границы

$$\left[ g(\vec{x}) \frac{\partial U}{\partial n} - \gamma n(\vec{x}) U(\vec{x}) - \varphi(\vec{x}) \right]_r = 0.$$

Эта задача подробно рассматривалась для линзотронного слоя в работах [4, 5].

Формула для нулевого приближения вертикальной составляющей трансформированного потока

$$\lambda = \begin{pmatrix} \lambda_{11} & \lambda_{12} \\ \lambda_{21} & \lambda_{22} \end{pmatrix}$$

имеет структуру

$$\vec{\Theta}_z = \left\{ K_2 \left[ -\frac{a^2 H}{\pi^2} D(P) \sin(\vec{n}, \vec{z}) - \varphi'(s) \right] + \lambda_0 \Theta_n \cos(\vec{n}, \vec{z}) \right\} \vec{l}_z. \quad (7)$$

Здесь  $0 \leq S \leq L$  — длина дуги границы, отсчитываемая от некоторой точки (рис. 1);  $K$  — теплопроводность покрывающих слоев;  $a = \lambda_1 / \lambda_2$ ;  $\lambda_1$  — теплопроводность вдоль, а  $\lambda_2$  — поперек слоя,  $D(S)$  — некоторая функция, определяемая рядом Фурье и обладающая для симметричных антиклинальных структур такими свойствами:

а)  $D(0) = -D(1)$

б)  $D(1/2) = 0$ ;

в) если  $\varphi'(S) \geq 0$  на всем интервале, то  $0 \leq S \leq L$   $D(S) \sin(\vec{n}, \vec{z}) \geq 0$  также на всем интервале.

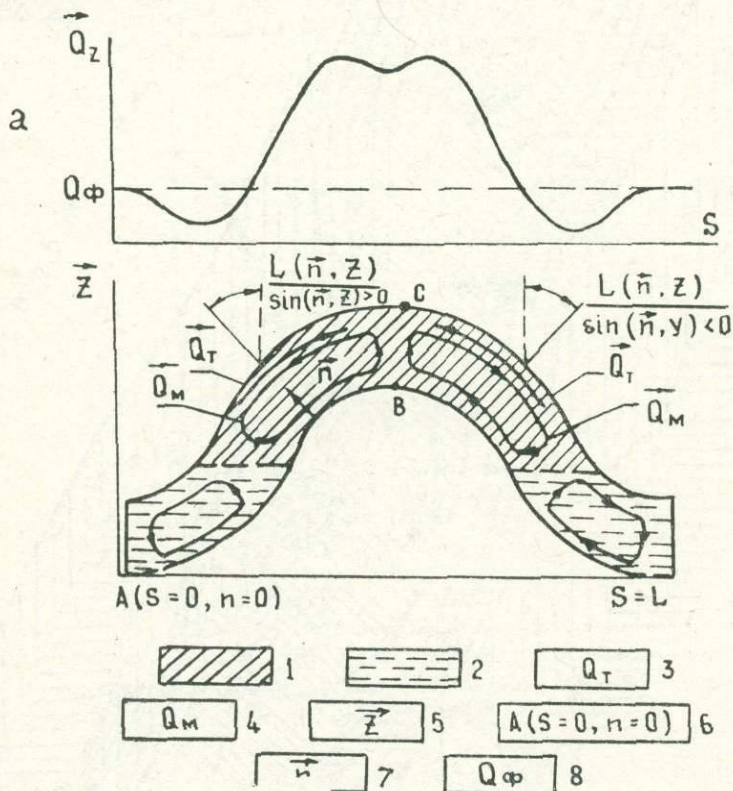


Рис. 1. Схема симметричной антиклинальной структуры с нефтегазовым флюидом (а) и механизм формирования тепловой депрессии (б).

1—залежь углеводородов; 2—вода; 3—тепловой поток за счет теплопроводности; 4—тепловой поток за счет массопереноса; 5—ось, направленная из недр к земной поверхности; 6—начало отсчета; 7—вектор нормали к границе; 8—фоновый тепловой поток.



Анализ законов распространения этого сигнала на ЭВМ показал, что он должен проявляться на расстоянии до 0,6 больших полуосей эллиптических в плане залежей, т.е. практически, в большинстве случаев, может быть обнаружен на поверхности. Полевые исследования, проведенные на площадях Дагестана, Калмыкии, Саратовского Заволжья, подтвердили наличие зон пониженных значений теплового потока (так называемых зон локальной тепловой депрессии), окаймляющих области его относительно высоких значений (рис. 2, 3).

Это явление было положено в основу геотермического способа поисков нефтяных, нефтегазовых и газовых залежей структурного типа, получившего название метода вариаций теплового потока (МВТП).

Результаты подобной геотермической съемки в сочетании с данными о форме искомого сигнала облегчают решение обратной задачи. Так, для Милорадовской (Саратовское Заволжье) и Огинской (Дагестан) площадей с использованием ЭВМ были предсказаны интенсивность сигнала (рис. 3) и средняя глубина залегания коллектора.

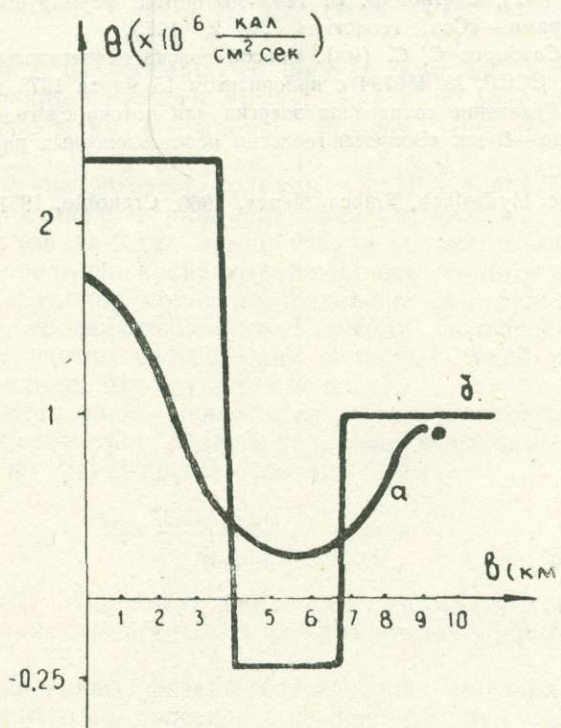


Рис 3. Милорадовская геотермическая аномалия  
а—экспериментально измеренный тепловой поток вдоль малой полуоси отрисованной структуры; б—формируемый структурой сигнал, рассчитанный на ЭВМ.

Внедрение МВТП, проводимое в настоящее время Нижневолжским территориальным геологическим управлением, предполагает весьма полную и детальную съемку. Это связано с тем, что, как это следует из работы [2], движение подземных вод в незамкнутой системе, приуроченной к цепочке локальных антиклинальных поднятий, может дать вдоль простирания картины, местами сходные с изображенной на рис. 1, а картиной распределения тепловых потоков; вкрест простирания картина будет принципиально иной.

Представляется полезным комплектирование МВТП с другими геофизическими методами, а также с газогеохимической съемкой. Простота геологической интерпретации геотермических данных, а также относительно невысокая стоимость МВТП позволяют считать его весьма перспективным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Минский Е. М. Статистическое обоснование уравнений фильтрационного движения.—«ДАН СССР», т. 118, № 2, 1958.
2. Митник М. М. Влияние движения подземных вод на распределение тепловых потоков в земной коре.—«Научно-техническое совещание по геотермическим методам исследований в гидрогеологии. Тезисы», М., 1975.
3. Сардаров С. С. (мл). Некоторые асимптотические упрощения уравнения теплопереноса.—В кн. «Функциональный анализ, теория функций и их приложения», Махачкала, 1974.
4. Сардаров С. С. (мл), Суетнов В. В. Тепловой поток, формируемый нефтегазоносными структурами.—«Сов. геология», № 2, 1975.
5. Суетнов В. В., Сардаров С. С. (мл). Способ поиска нефтегазосодержащих структур. Авт. свид. СССР, № 458794 с приоритетом 15 марта 1975 г.
6. Чекалюк Э. Б. Уравнение сохранения энергии для потока сжимаемой жидкости в пористой среде.—В кн. «Вопросы геологии нефтегазоносных районов Украины». М., 1963.
7. Fezzandon J. Soc. Hydrofech, France, Nancy, 1960, Crenoble, 1961,

### III. КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ

В. М. СТЕПАНОВ

(Уральская ГРЭ МЦМ СССР)

#### ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МЕДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СРЕДНЕГО УРАЛА КАК ОСНОВА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ниже приведены особенности физико-геологических моделей медных месторождений Среднего Урала, на основе анализа которых рассмотрены предпосылки постановки и выбор методов геофизических исследований.

Для построения моделей по ряду месторождений Среднего Урала были собраны данные о размерах эксплуатируемых рудных тел, их форме, составу вмещающих пород, типу и вещественному составу руд. Были также проанализированы имеющиеся данные по физическим свойствам руд и горных пород и определены (в отдельных геологических разрезах) средневзвешенные значения физических параметров рудного тела с учетом соотношения основных типов руд (сплошных, прожилково-вкрапленных и вкрапленных).

Для количественной оценки степени изменчивости геологических и физических параметров рудных тел были вычислены коэффициенты изменчивости по следующему соотношению:

$$K = \frac{\psi_{\max} - \psi_{\min}}{\psi_{\text{вер}}}, \quad (1)$$

где  $\psi_{\max}$ ,  $\psi_{\min}$ ,  $\psi_{\text{вер}}$  — максимальное, минимальное и наиболее вероятное значения геологических и физических параметров рудного тела.

На представленных физико-геологических моделях приняты контуры кондиционных по полезному компоненту руд. Размеры рудных тел по геологическим определениям (с учетом и некондиционных руд) будут значительно больше.

Почти все изученные месторождения Среднего Урала расположены в зонах расщепления. Рудные тела в них имеют правильную геометрическую форму, осложненную в ряде случаев пережимами, раздувами, пальцеобразными выклиниваниями, изменением простирания и падения. Опыт геофизических исследований показал, что для обоснования поисковых методов, выбора сети и интерпретации аномалий вполне оправданным является представление рудных тел в виде схематизированных геометрических форм с отвлечением от мелких искажающих деталей. Статистический анализ показал, что наиболее вероятными формами рудных тел являются пласты, ограниченные по простиранию и на глубину, и линзы, представляющие сжатый эллипсоид вращения,

хотя в Левихинской группе месторождений встречаются рудные тела в форме сферы и сфероидов. Для наиболее полной характеристики рудных тел был произведен статистический анализ основных размеров рудных тел по простиранию и падению, выраженных в единицах мощности. Анализ полученных данных показывает, что рудные тела изученных месторождений по соотношению размеров могут быть подразделены на 3 группы:

а) первую составляют месторождения с рудными телами, у которых длина тела по падению в единицах средней мощности несколько превышает длину тела по простиранию. К этой группе относятся рудные тела Гумешевского и им. III Интернационала месторождений. Рудные тела этих месторождений представляют пласты значительных (более 13—24) мощностей;

б) во вторую группу входят месторождения Левихинской группы. В этой группе длина рудных тел по простиранию в 3—4 раза превышает длину по падению. Рудные тела этой группы подразделяются на 2 подгруппы. В одну из них входят рудные тела, размеры по падению которых превышают лишь в 3—5 раз среднюю мощность. Другую подгруппу составляют тела, размеры по падению которых превышают среднюю мощность в 7—10 раз. Форма рудных тел в большинстве случаев близка к линзам (сжатым эллипсоидам вращения), в меньшей степени к пластикам. Во второй подгруппе встречаются рудные тела в форме вытянутого эллипсоида, сфероида и сферы;

в) в третью группу входят рудные тела месторождений Красноуральской группы. Для них характерны примерно одинаковые размеры по простиранию и падению. При этом для части рудных тел (Красногвардейское месторождение) размеры превышают 8 мощностей, для других—31—35 средних мощностей. Форма рудных тел, в основном, пластообразная, в меньшей степени линзообразная (сжатый эллипсоид вращения). Для большинства изучаемых месторождений отмечается в общем согласное с вмещающими породами залегание рудных тел. Простирание рудных зон и рудных тел в зонах совпадает с меридиональным направлением вмещающих толщ.

Падение рудных тел, как правило, крутое, угол падения колеблется от 60 до 90°. Лишь для рудных тел Гумешевского рудника и рудника им. III Интернационала отмечаются единичные случаи пологого падения. На выдержанное падение рудных тел указывают также значения коэффициента изменчивости, величина которого изменяется лишь от 0,4 до 0,39.

Анализ вариационных кривых показывает, что во всех рудных полях изученных колчеданных месторождений в наибольшем числе случаев рудные тела залегают либо в кварц-серицитовых сланцах (Западная и Северная группы линз Зюзельского месторождения, рудник им. III Интернационала, Левихинская группа месторождений, Заводское и Северное месторождения Красноуральской группы), либо на контакте сланцев с порфиритами андезитового состава (Северная группа линз Зюзельского месторождения, Красногвардейское месторождение), либо на контакте сланцев и альбитофиров (Пьянко-Ломовское, рудник им. III Интернационала, Левихинская группа месторождений). На Гумешевском месторождении большинство рудных тел расположено либо на контакте мраморизованных известняков и диоритов, либо в диоритах.

Отмеченная особенность положения рудных тел среди вмещающих пород указывает на возможность построения единых геологических моделей и очень важна при определении контрастности физических параметров рудных тел и вмещающих пород.

Большинство месторождений представлено серией рудных тел, расположенных параллельно или кулисообразно, а в некоторых случаях ступенчато. Например, на месторождении Левихинской группы количество рудных тел в разрезе колеблется от 3 (Левиха VII—VIII) до 10 (Левиха XII), составляя в среднем 5—6. На поверхности сближенные рудные тела каждого месторождения будут создавать суммарный эффект, что необходимо учитывать при интерпретации и анализе разрешающей способности методов.

При поисковых исследованиях зональность в распределении физических параметров подчас неизвестна. Отсюда при построении физико-геологических моделей необходимо определять средний эффективный параметр возмущающего объекта. По геологическим данным на медных месторождениях Среднего Урала развиты следующие типы: сплошные колчеданные, вкрапленные и руды сложного состава. За эффективные параметры в первом случае принимались значения физических свойств сплошных колчеданных руд. Для вкрапленников—соответственно параметры вкрапленных руд. Для рудных тел сложного состава определение эффективных параметров производилось путем вычисления средневзвешенных значений с учетом площади вкрапленных и сплошных руд. По значениям средневзвешенного параметра строились вариационные кривые и определялись наиболее вероятные значения, являющиеся эффективными. В этом случае физические параметры близки по своим значениям к реальным. Анализ коэффициентов изменчивости плотности руд вмещающих пород позволяет сделать следующие выводы. При выдержанной плотности руд и вмещающих пород (коэффициент изменчивости для вмещающих пород колеблется от 0,01 до 0,04 и руд от 0,03 до 0,47) отмечается значительная изменчивость избыточной плотности рудных тел. Значения коэффициентов изменчивости для  $\sigma_{пл}$  рудных тел колеблется от 0,08 до 5,63. Физические параметры реальных рудных тел сложного состава (таблица) имеют значительно меньшую величину, чем это дают измерения по образцам и параметрические замеры. Например, по месторождениям Левихинской группы избыточная плотность залежей вкрапленных руд составляет всего 0,22—0,31 г/см<sup>3</sup>, на месторождении им. III Интернационала—0,30, Гумешевском—0,83—0,94 г/см<sup>3</sup>, Заводском и Северном—0,86 г/см<sup>3</sup>. Наряду с телами, осложненными вкрапленными рудами и рудами сложного строения, есть и сплошные колчеданные руды; для них избыточная плотность составляет 1,39—1,86 г/см<sup>3</sup>. Недочет рудных тел, сложенных вкрапленными рудами, имеющими минимальную избыточную плотность и другие физические параметры, может привести к пропуску этих рудных тел при поисках месторождений. Следует отметить, что в Левихинской группе эти тела дают около 50—60% добываемой меди. Значительные погрешности могут иметь место и при количественной интерпретации гравитационных полей. Близкие к идеальным проводникам тела сложены сплошными колчеданными рудами и рудами сложного состава Левихинской группы и Красногвардейского месторождения. Для них отношение  $\rho_{руд}/\rho_{вмещ. порода}$  колеблется от 1/38 до 1/169. Для рудных тел, сложенных вкрапленными рудами, это отношение меньше, чем 1/28—1/30. Отмечается значительная невыдержанность значений сопротивлений для руд по сравнению с вмещающими породами. Значения коэффициентов изменчивости, например, для руд Красноуральской группы месторождений, колеблется от 3,3 до 5,4, а вмещающих пород от 0,07 до 0,26. Коэффициенты изменчивости  $\rho_{руд}/\rho_{вмещ}$  колеблется от 0,83 до 0,89. Для месторождения им. III Интернационала коэффициент изменчивости сопротивления руд составляет 1,48, вмещающих пород—0,73, а отношения  $\rho_{руд}/\rho_{вмещ}$ —5,23. Эти данные необходимо учитывать

Физические параметры	Красноуральская группа			Месторождение им. III Интернационала	Левихинская группа	Пьянко-Ломовское	Зюзельское	Гумешевское
	Красногвардейское	Северное	Заводское					
Плотность, г/см <sup>3</sup>								
а) плотность рудных тел	4,36—4,48 4,38; 4,48	3,49—4,48 4,48, 4,35	3,49—4,48 3,49	3,03—4,03 3,46	3,04—4,16 3,14; 4,16 3,01	3,04—4,47 3,05; 0,4 4,47	3,08—4,28 3,08; 4,28	3,63
б) плотность вмещающих пород	2,60—2,63 2,6; 2,63	2,60—2,7 2,63	2,6—2,63 2,60	2,7—2,78 2,7; 2,73	2,60—2,8 2,73; 2,63	2,73—2,82 2,82; 2,73	2,73—2,81 2,73; 2,81	2,69—2,80 2,8
в) избыточная плотность	1,73—1,88 1,854; 1,75	0,87—1,87 1,85; 1,7	0,86—1,86 1,86	0,30—1,39 0,76; 0,73	0,38—1,43 0,41; 1,43 0,28	0,22—1,74 0,31; 0,22 1,65	0,27—1,50 0,34; 1,45 1,52	0,83—0,94 0,83
Магнитная восприимчивость, 10 <sup>-6</sup>								
а) руды	0—100	—	—	0—100	0—100	0—100	540—5500 3000 и 20—30	0—10000 3700
б) вмещающие породы	0—100	—	—	0—100	0—100	0—100	20—30	0—100 25
в) разность $K_1-K_2$	0	—	—	0	0	0	0	0—10000 3675
Сопротивление $\rho$ , ом								
а) вмещающих пород $\rho_2$	1000—6000 1290; 5700	3500—6500 4800	6000—6050 1290	1661—4719 1661; 4170	1500—2300 1501; 2000	1500—2300 1500; 2000	1500—3000 2000	2000—3000 3000
б) массивных колчеданных руд $\rho_1$	1—15 12	1—15 12	1—15 12	—	—	—	0—100	
в) отношение $\rho_1/\rho_2$	$\frac{1}{300} - \frac{1}{408}$	$\frac{1}{300} - \frac{1}{504}$	$\frac{1}{300} - \frac{1}{500}$	—	—		$\frac{1}{30} - \frac{1}{60}$	
г) отношение сопротивлений вкрапленных руд и вмещающих пород	$\frac{1}{2} - \frac{1}{9}$	$\frac{1}{3} - \frac{1}{27}$	$\frac{1}{3} - \frac{1}{27}$	—	—		$\frac{1}{5} - \frac{1}{30}$	
д) отношение сопротивлений руд сложного состава и вмещающих пород	$\frac{1}{28} - \frac{1}{169}$	—	—	$\frac{1}{36} - \frac{1}{94}$	$\frac{1}{30} - \frac{1}{46}$	$\frac{1}{30} - \frac{1}{46}$	—	$\frac{1}{90} - \frac{1}{60}$

при определении разрешающей способности электроразведочных методов, и особенно при интерпретации выявленных аномалий.

Сопоставление физических параметров реальных рудных тел с параметрами вмещающих пород изученных месторождений показывает наличие достаточной избыточной плотности и разницы в сопротивлениях для постановки гравиразведки и электроразведки на постоянном и переменном токе при поисках рудных тел. Значительная контрастность магнитных свойств рудных тел по сравнению с вмещающими их диоритами и мраморами Гумшевского медно-скарнового месторождения указывает на весьма благоприятные предпосылки для постановки магниторазведки. Имеются такие достаточные предпосылки для ее использования при поисках и разведке пирротиновых руд Зюзельского месторождения, например, Западной группы линз. Таким образом, на примере медных месторождений Среднего Урала можно видеть, что физико-геологические модели рудных месторождений имеют большое практическое значение на стадии проектирования и выполнения геофизических исследований. Обобщенные статистические данные о размерах, геометрической форме и элементах залегания рудных тел месторождения позволяют выявить оптимальные геологические предпосылки геофизических исследований и выбрать оптимальную сеть геофизических наблюдений. Анализ физических параметров рудных тел и сопоставление их с параметрами вмещающих пород позволяет объективно выделить предпосылки геофизических методов и дать обоснование комплекса методов при поисках рудных тел. Немаловажное значение модели имеют для повышения однозначности качественной и количественной интерпретации наблюдаемых физических полей. Отсутствие ряда физических параметров рудных тел, например, скорости продольных и поперечных волн, радиоактивности и т. д. не позволило построить более полные физико-геологические модели месторождений. Поэтому представленные физико-геологические модели являются лишь первым этапом решения важной проблемы изучения месторождений. Вторым этапом будет являться статистический анализ физических полей над этими месторождениями. Физико-геологические модели рудных тел месторождений и физические поля над ними позволят дать более полную характеристику геологических и физических особенностей месторождений и разработать методику поисков нескрытых рудных тел, в том числе и глубокозалегающих.

В. М. СТЕПАНОВ

(Уральская ГРЭ МЦМ СССР)

## ПОДЗЕМНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ПОИСКАХ И ДОРАЗВЕДКЕ РУДНЫХ ТЕЛ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МЕДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СРЕДНЕГО УРАЛА

Планомерные геофизические исследования в пределах рудных полей эксплуатируемых месторождений были начаты с 1969 г. после создания геофизической службы в системе Уральской ГРЭ Министерства цветной металлургии СССР.

Анализ физических параметров рудных тел физико-геологических моделей изученных месторождений подтвердил наличие благоприятных физико-геологических предпосылок для постановки под землей гравиразведки, электроразведки на многих месторождениях, а на Гумешевском медно-скарновом месторождении и магниторазведки.

Геологические помехи, вызванные влиянием контактов пород, различных горных выработок, зон обрушения, подчеркивают необходимость комплексной интерпретации выявленных геофизических аномалий.

Изучение помех и мешающих факторов технического характера показало следующее:

а) при наблюдениях с гравиметрами отмечается понижение точности за счет сотрясений грунта от работающих механизмов и взрывов, а также колебаний системы при работе на деревянных настилах;

б) при измерениях градиентометром и вариометром эти помехи и движение электровозов значительно затрудняют производство наблюдений, снижают производительность, а на ряде участков делают измерения практически невозможными;

в) изучение в горных выработках блуждающих токов показало, что максимальные потенциалы достигают 1000—1500 мв, при наиболее вероятных значениях в 0—20 и 0—50 мв, редко в 100 и 200 мв. Блуждающие токи имеют как импульсный, так и синусоидальный характер.

Опробование аппаратуры типа АНЧ—1 показало пригодность ее для работы в этих условиях. В подземных горных выработках предпочтительной является постановка электроразведки переменным током низкочастотными и высокочастотными методами.

При скважинных наблюдениях блуждающие токи существенного влияния не оказывают.

Наличие в горных выработках искусственных проводников существенно искажает результаты измерений высокочастотной электроразведки. Влияние искусственных проводников зависит от частоты и удельного сопротивления окружающих пород. На частотах 32—128 кгц преобладает влияние рельсов, 512 кгц—плохо заземленных водопроводных труб и 2048 кгц—троллейного провода.

В горных выработках медно-скарновых месторождений наблюдаются переменные магнитные помехи, интенсивность которых достигает 200—300 γ. Они имеют импульсный характер с периодом от 30 сек до 1—2 мин. Опробование в 1973 г. в горных выработках Гу-

мешевского месторождения магнитометра КШСМ—38, изготовленного в Институте геофизики УНЦ АН СССР под научным руководством В. Н. Пономарева, показало, что применение такого прибора не только увеличивает производительность, но и позволяет избавиться от влияния переменных магнитных помех.

Одной из важных характеристик геологической эффективности геофизических исследований является их глубинность, под которой следует понимать предельный радиус исследований, внутри которого рудные тела заданной формы и размеров будут выявляться геофизическими методами.

Учитывая неразработанность этого вопроса для гравиметрии, были выведены расчетные формулы и построен альбом номограмм для трех форм рудных тел: шара, вертикального и горизонтального цилиндров конечных размеров. Расчеты по этим формулам и номограммам показали, что для наиболее вероятных размеров рудных тел медных месторождений Среднего Урала предельная глубинность при измерении  $\Delta g$  составляет 35—50 м, а при измерении вторых производных 34—40 м. Для максимальных размеров рудных тел предельная глубинность при измерениях силы тяжести значительно превышает глубинность вторых производных гравитационного потенциала. Глубинность исследований при измерениях аномалии силы тяжести для максимальных размеров рудных тел изученных месторождений достигает 1200 м при наиболее вероятных глубинах в 140—200 м. Для измерений вторых производных гравитационного потенциала глубинность составляет лишь 80—115 м. Отсюда при поисках месторождений на площадях, прилегающих к разведочным рудным полям, наиболее эффективной будет гравиметровая съемка. При поисках в пределах уже разведанных рудных полей отдельных рудных тел глубинность гравиметровой съемки соизмерима с глубиной измерений вторых производных гравитационного потенциала.

Для индуктивных методов электроразведки глубина исследований не превышает 50—60 м при измерениях в однородном магнитном поле и 23—25 м для поля магнитного диполя при  $r$  равном 100 м. Опыт работ по методу РВП показал, что эффективная дальность прохождения сигнала колеблется в пределах 35—200 м и обеспечивает опоскование участков между разведочными линиями на расстояниях до 100 м. Дальность исследований методом электрической корреляции (МЭК) составляет 100—150 м. Приведенные данные необходимо учитывать при выборе комплекса и методики геофизических исследований.

Совместный анализ факторов, определяющих эффективность методов, показал, что в подземных горных выработках и скважинах медноколчеданных месторождений высокой информативностью обладают гравиразведка и электроразведка. Включение в комплекс магнитной съемки информативность не повышает. С увеличением вероятности выявления аномалий при переходе от поисковых к поисково-разведочным и разведочным съемкам увеличивается информативность каждого метода и комплекса в целом. Таким образом, в рациональный комплекс на медноколчеданных месторождениях должны быть включены гравиразведка и электроразведка, а на медно-скарновых месторождениях еще и магниторазведка.

Увеличение достоверности и глубинности опоскования достигалось путем комплексирования подземных и наземных геофизических исследований.

Выбор эффективных методов при внутриметодном комплексировании определялся полнотой решаемых задач и экономической эффективностью, помехами, глубинностью. При оценке перспектив глубо-

ких горизонтов и флангов месторождений наиболее эффективными будут гравиметровые исследования, особенно при опонсковании прилегающих к рудному полю площадей. При поисках рудных тел на стадии разведки наиболее эффективным является комплекс гравиметрических измерений и скважинных исследований (МЭК, РВП, АСМИ). Включение в комплекс гравиметрических измерений повышает достоверность опонскования околорудных пространств. При закрытии горизонтов наиболее эффективным методом по своим техническим возможностям является гравиразведка, позволяющая получить дополнительную информацию об отсутствии рудных тел и околорудном пространстве.

Из гравиметрических измерений экономически наиболее эффективной является съемка с гравиметром с детализацией выявленных аномалий градиентометром. В случае съемки по одной выработке при отсутствии мешающих факторов применяется съемка с вариометром, при их наличии—с гравиметром и градиентометром.

Наряду с разработкой рационального комплекса проведенными опытно-методическими и опытно-производственными работами решались также вопросы усовершенствования и разработки отдельных методов и интерпретации полученных материалов.

На Зюзельском сернокобальтовом месторождении по данным поисково-разведочных работ на участке гравиметровой аномалии был получен прирост запасов по так называемой западной группе линз около 100 тыс. т руды.

На месторождении Левиха VI выявлена аномалия силы тяжести, перспективная на обнаружение серноколчеданных руд с прогнозными запасами около 345 тыс. т. Ориентировочный прогнозный прирост запасов руд по уточненным контурам тел составляет: по серноколчеданным рудам—595 тыс. т, по медноколчеданным—122 тыс. т, по медистым вкрапленникам—605 тыс. т.

На Ломовском руднике ориентировочные прогнозные запасы медноколчеданных руд по геофизическим данным составят 122 тыс. т, серноколчеданных—65 тыс. т.

При работах в 1974 г. на горизонте 372 м шахты Никитинской Турьинских рудников по данным РВП была дана рекомендация о возможном присутствии рудной минерализации западнее рудного тела 6, а также о возможном слиянии рудных тел 4 и 2 при значительном увеличении их мощности. Проверкой аномалии бурением установлена правильность сделанных рекомендаций. Предварительно за счет увеличения мощности рудных тел установлен прирост запасов на 0,25—0,5 тыс. т меди.

Результаты скважинного варианта МЭК, выполненного в буровых камерах 43—44—45 горизонта 310 м Гумешевского рудника, послужили основанием для более обоснованного подсчета запасов.

Приведенные примеры показывают на достаточно высокую геологическую эффективность геофизических исследований при решении поставленных задач.

Несколько слов о нерешенных проблемах подземных геофизических исследований на Урале. Одной из них является дальнейшее техническое перевооружение геофизических работ. Также необходимо развитие теории, особенно по методике оценки геологической и экономической эффективности применяемого комплекса и отдельных геофизических методов. Не менее важным является опробование и внедрение методов, использующих новые физические параметры, такие как пьезоэлектрический, сейсмический эффекты, анизотропию горных пород и т. д. Наконец, крайне необходима разработка методики комплексной интерпретации с использованием ЭВМ, особенно основанной на статистических закономерностях изменений поля.

В. Е. ЛАНДА

(Читинское геолуправление Мингео РСФСР)

## ПОДЗЕМНАЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА НА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

В Восточном Забайкалье при поисково-разведочных работах на стадиях предварительной и детальной разведки рудных месторождений в скважинах и горных выработках широко используются электроразведочные методы подземной геофизики.

Наиболее полно они опробованы на золоторудных месторождениях.

Повышению эффективности геолого-геофизических работ способствует совершенствование известных методик и рациональное комплексование прогрессивных методов и способов исследований в зависимости от геоэлектрической модели месторождений и решаемых задач, важнейшими из которых являются: выявление основных структур и рудных тел, изучение их морфологии, корректировка геологических разрезов, разряжение и сокращение сети горноразведочных выработок, решение вопросов глубинного геологического картирования.

Для оконтуривания, увязки, поисков и прослеживания рудных тел и минерализованных сульфидизированных зон совместно с методами ВП и РВП применяется скважинная низкочастотная электроразведка методом заряда (МЗ).

В условиях плохой сохранности скважин (дефицит обсадных труб, неустойчивость стенок скважин) для всех модификаций МЗ практикуется устройство долговременных заземлений в интервалах подсечения рудных тел, срок годности которых достигает 3—5 лет и которые используются на этапах предварительной и детальной разведки.

На месторождениях, представленных пластообразными жильными и крутопадающими телами, для увязки рудных тел с дневной поверхностью и в межскважинном пространстве разработана методика низкочастотной оперативной электроразведки (НОЭ) с заземлениями на бурильные колонны бурящихся скважин, что расширило возможности МЗ на профилях с многоствольным бурением и бурением скважин с повторными рудными пересечениями.

Непрерывная запись корреляционных кривых на станции АЭС—900 через измеритель АНЧ—1 при использовании генератора ИКС—50 (АНЧ—1) повысила чувствительность к измеряемому низкочастотному полю по сравнению с записью на постоянном токе. Указанный способ измерений позволил проводить увязку рудных тел по простиранию на 300—400 м и более, а также втрое увеличить производительность скважинных исследований МЭК по сравнению с общепринятой методикой и уменьшить время простоев буровых бригад.

Для изучения структуры рудных зон и их прослеживания из скважин и подземных выработок по простиранию на дневной поверхности используются способы потенциала и градиента. В шахтном варианте МЗ применяется способ потенциала для увязки рудных подсечений.

выяснения их принадлежности определенным рудным телам, выделяемым по данным РВП и подземному варианту ЕП, на ряде месторождений обладающему некоторыми преимуществами по сравнению с каротажем КС, МСК, ВП при выделении и локализации рудных тел в малококонтрастных и сульфидизированных разрезах.

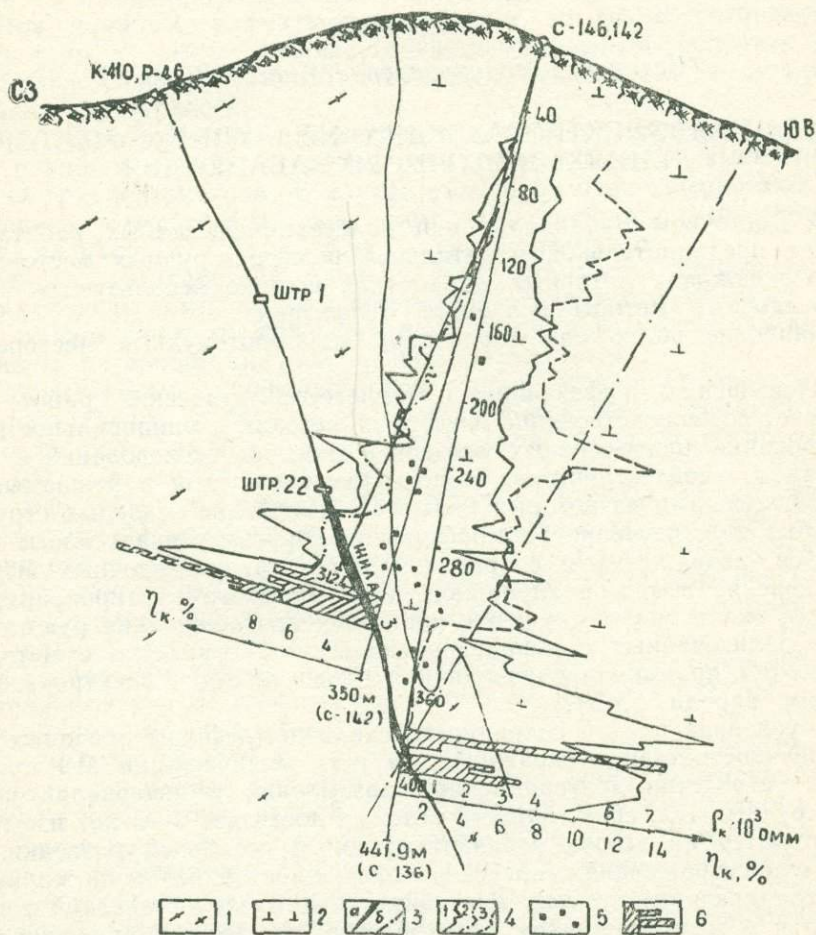


Рис. 1. Сопоставление результатов опробования и данных ВП на золоторудном месторождении.

1—гранитогнейсы; 2—гранодиориты; 3—кварц-сульфидные жилы (а), тектоническое нарушение (б); 4—графики: каротажа ВП (1), вертикального профиля (2, 3); 5—пиритизация; 6—данные опробования, в 1см—2 усл. ед.

При определении пространственного распределения зон с сульфидной минерализацией, размеров и элементов залегания рудных тел на золото-сульфидных месторождениях возможно использование азимутальных установок ВП (вариант «поверхность—скважина») и заряда ВП («скважина—поверхность»). Каротаж ВП с установками А9МН и А5МН и вертикальный профиль ВП ( $MN=10 \text{ м}$ ) являются наиболее эффективными модификациями ВП на месторождениях золото-сульфидного, кварц-сульфидного и турмалин-сульфидного типов, позволяющими пополнять документацию скважин, уточнять морфоло-

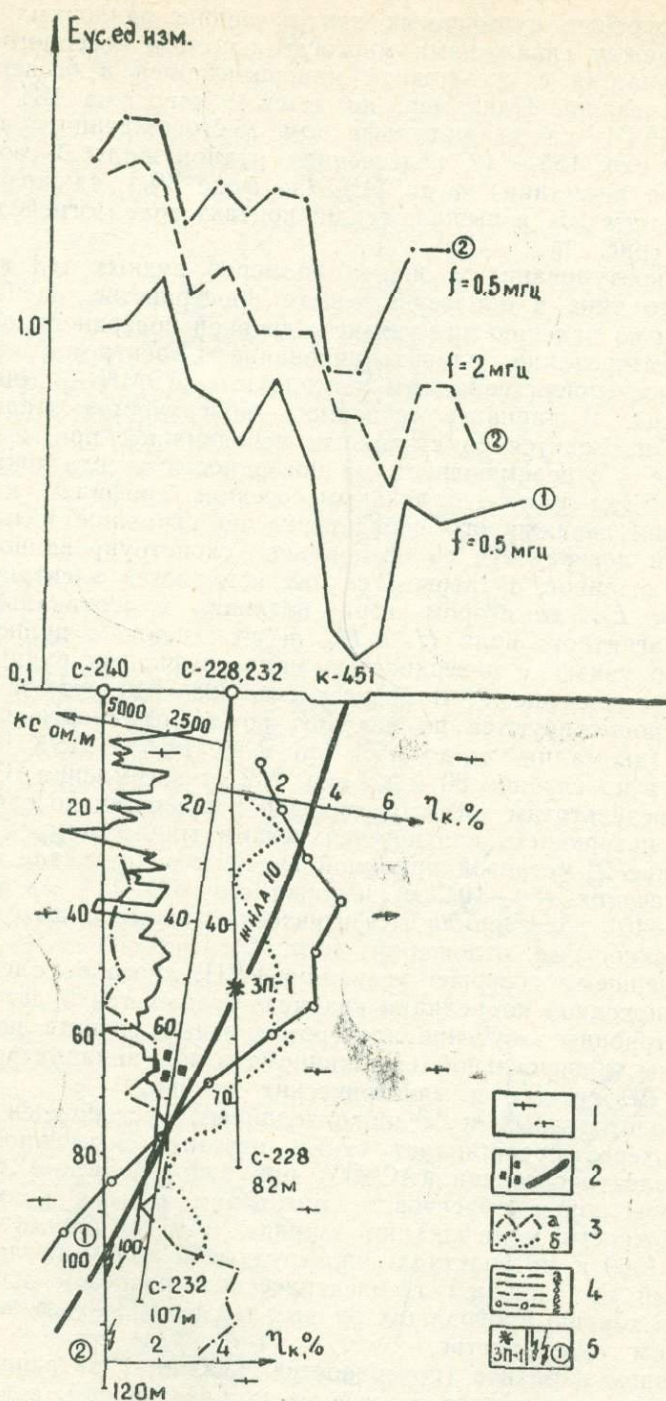


Рис. 2. Результаты радиопросвечивания из скважины на поверхность и скважинных измерений по методу ВП, МЭК на золоторудные месторождения.  
 1—гранитогайсы; 2—пиритизация, кварц-сульфидная жила; 3—графики вертикального профиля ВП по скв. 240 (а) и скв. 232 (б); 4—графики радиопросвечивания из скважины на поверхность при частоте 0,5 (а, б), 2 мГц (в), график градиента потенциала по скв. 232 (г); 5—зарядное подседеление (ЗП-1) в скв. 228; стоянки приемной антенны в скв. 240 (1, 2).

гию золотоносных сульфидных зон в районе одиночных поисковых скважин, между скважинами многоствольного и «веерного» бурения, выявлять участки с сульфидной минерализацией в бескерновых интервалах скважин. Например, по данным каротажа ВП с установкой А9MIN на кварц-сульфидном месторождении, увязываемом по разрезу скв. 136—142, подсечениям рудной жилы 3 соответствуют интенсивные аномалии  $\eta_k$  до 14% (на фоне 3%); также пиритизирован по данным ВП и вышележащий контакт гранитогнейсов и гранодиоритов (рис. 1).

Для оконтуривания и оценки размеров рудных тел кварц-мало-сульфидного типа в околоскважинном пространстве, оценки их протяженности по падению при увязке с дневной поверхностью выполнены радиопрофилирование, радиозондирование и электромагнитная корреляция с усовершенствованным комплектом ДЭМП—3 (частоты 512 и 2048 кгц). В варианте «скважина—поверхность» исследования с ДЭМП—3 проводятся со стоянками неподвижной приемной антенны в скважине и с перемещением на поверхности передатчика по линии бурения и двум-трем параллельным соседним профилям, а также при перемещении скважинного передатчика по скважине и наблюдениях на дневной поверхности со специально сконструированной приемно-рамочной антенной. В первом случае измеряется электрическая составляющая  $E_z$ , во втором—горизонтальная и вертикальная составляющие магнитного поля  $H_r$  и  $H_z$  и угол наклона полного вектора  $\alpha$ . Пример увязки с поверхностью малосульфидных рудных жил иллюстрируется на рис. 2. В разрезе скв. 228—240 рудные подсечения жилы 10 коррелируются по падению по данным вертикального профиля ВП (аномалии  $\eta_k$  до 4,5% при фоне 1%) и МЭК (сменой знака графика на глубине 80 м по скв. 232 от заземления ЗП—1 в скв. 228). По результатам электромагнитной корреляции по скв. 240 выход жилы на поверхность картируется четким минимумом  $E_z$ . Он отвечает стоянке 24-метровой приемной антенны в интервале глубин рудного подсечения (80—104 м) и ниже его (90—114 м). Пройденная канава к—461 подтвердила геофизические данные о выходе жилы 10 под поверхностные отложения (рис. 2).

Дальнейшему совершенствованию РВП, способов электромагнитной и волноводной корреляции кварцево-рудных тел будет способствовать всестороннее изучение электромагнитных свойств пород и руд, применение универсальной скважино-шахтной аппаратуры с использованием магнитных и электрических антенн.

На золоторудных и медноколчеданных месторождениях практический интерес представляет также изучение возможностей индукционной электроразведки (АСМИ) при гальваническом возбуждении электропроводящих объектов и магнитном приеме поля.

Возможности модификации «заряда АСМИ» опробуются и изучаются с 1969 г. на участках золоторудных и полиметаллических месторождений со сложным геоэлектрическим разрезом для увязки и выявления хорошо проводящих рудных тел в околоскважинном и межскважинном пространстве.

В первом варианте (поверхность—скважина) питающий электрод «А» заземляется в рудное подсечение (канава, шурф), а электрод «В» относится на 1—1,5 км или заземляется в обсадную трубу исследуемой скважины; питающая линия подсоединяется к генератору ГНЧ—2 аппаратуры АСМИ—40. При межскважинном варианте электроды «А» и «В» заземляются в трубу и в рудное подсечение зарядной скважины. В обоих вариантах в исследуемой скважине проводятся амплитудно-фазовые измерения низкочастотных полей вертикального и



горизонтального электрических диполей в диапазоне частот 125—3375 гц. Способ электрического возбуждения и магнитного приема поля обладает рядом преимуществ, в частности, возрастает дальность исследований (до 100 м и выше), уменьшается влияние неоднородностей вмещающей среды и повышается достоверность определения местонахождения рудного тела в исследуемом пространстве. Сопоставление петлевого варианта АСМИ и модификации «заряда АСМИ» для низкоомных разрезов показано на примере скв. Г—7 золото-сульфидного месторождения (рис. 3). При расположении скв. Г—7 внутри наземной петли по локальным аномалиям активной и мнимой компонент осевой составляющей поля выделены рудная зона 4 и более четко рудная зона 3, подсеченные скважиной в интервалах глубин 30 и 50—65 м. По характерным точкам кривых (отношение  $b_1/b_2=0,3$ ) определен угол падения рудной зоны 3—42° (фактически 45°). В исследуемой скв. Г—7 на графиках магнитного поля вертикального заземленного диполя в скв. 88 (электрод «В» заземлен в обсадную трубу скв. 88, «А»—долговременное заземление в скв. 88 на глубине 80 м) аномалии осевой составляющей на глубине 55—65 м указывают на корреляционную связь по простиранию рудных подсечений зоны 3 между скважинами Г—7 и С—88.

На отдельных разрезах Дарасунского месторождения зафиксировано преимущество «заряда АСМИ» по сравнению с односкважинным радиопросвечиванием при выделении и локализации кварц-сульфидных жил среди беретизированных зон.

При интерпретации данных метода АСМИ в петлевом варианте и низкочастотной оперативной электроразведки привлекаются данные моделирования.

Наземные и скважинные исследования на разведываемых месторождениях комплексуются с шахтными наблюдениями методами земных токов (ЗТ), радиопросвечивания и СДВ-радиокип. Расшифровка электрохимической природы радиоволновых аномалий проводится при подземных наблюдениях ЕП.

Разработанная для скважин горизонтального подземного бурения методика проведения наблюдений ЕП и низкочастотных модификаций МЗ с применением комплекса ИКС—50, досылающего устройства из комплекта РРША—1, и специально сконструированных скважинных зондов для электрических измерений в скважинах и их комплексирование с радиоволновыми измерениями расширили возможности подземной электроразведки по уточнению морфологии вскрытых и выявлению «слепых» и боковых рудных тел существенно сульфидного и кварц-сульфидного состава, оконтуриванию и прогнозированию рудных столбов.

Эффективность комплексирования методов шахтной электроразведки показана на рис. 4. Наблюдения в штреке 6 штольни 1 золото-рудного месторождения позволили предположить, что часть рудного столба между рассечками 21—25, отмечаемая отрицательной аномалией ЕП интенсивностью до —280 мв и ограниченная пологим нарушением на 250-м м штрека (пк 50), находится выше горизонта выработки, другая часть рудного столба между рассечками 25—29 распространяется ниже штрека 6 на шахтный горизонт. По геофизическим данным рудная зона после рассечки 27 уточняется и по тектоническому нарушению на пк 60, фиксируемому на графике  $\alpha$ , смещается влево от основной выработки, на что указывает повышение СДВ-поля на графике  $H_x$ . Проверочной рассечкой 31 и скважиной П—36 были подсечены сульфидные прожилки, которые отмечаются по данным ЕП отрицательной аномалией до —350 мв, характерной для протяженного рудного тела.

Полученные подземной электроразведкой данные о наличии и смещении рудной зоны в левую боковую стенку штрека 6 позволили скорректировать дальнейшие горнопроходческие работы по заданному обходному штреку и выйти на рудную зону 2. На графике естественного поля по скв. П-34 в интервале глубин 9—11 м зафиксирована интенсивная аномалия до  $-400$  мВ, увязываемая с зоной сульфидной минерализации, расположенной ниже горизонтальной плоскости скважины (рис. 4).

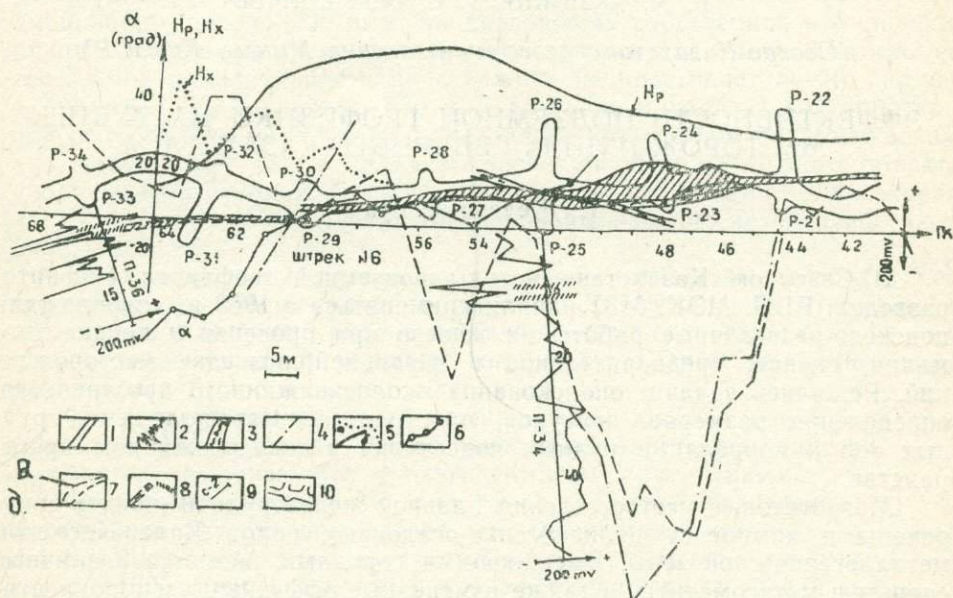


Рис. 4. Комплексное применение подземных вариантов методов СДВ-радиокип и естественного электрического поля при решении разведочных задач в процессе горнопроходческих работ на золото-сульфидном месторождении.

1—рудная зона 2; 2—графики ЕП в ГП-скважинах; 3—зона дробления; 4—тектонические нарушения; 5—графики горизонтальных составляющих СДВ-поля  $H_x$  (а) и  $H_p$  (б); 6—графики угла наклона вектора магнитного поля; 7—графики основных (а) и контрольных (б) наблюдений ЕП по штреку 6; 8—предполагаемое сульфидное оруденение по геофизическим данным; 9—скважины ГП бурения; 10—подземные горные выработки.

Таким образом, для золото-сульфидных месторождений Вост. Забайкалья наиболее эффективны методы заряда, естественного поля, вызванной поляризации и радиоволновые. На малосульфидных золоторудных месторождениях наиболее целесообразно применение скважинных и шахтных радиоволновых методов, ВП и в отдельных случаях МЗ.

Дальнейшее совершенствование подземной электроразведки намечено проводить с использованием электрофизических характеристик горных пород и рудных минералов, изучаемых в естественном залегании и в лаборатории, а также данных скважинной геохимии и ядерно-каротажных исследований. Повышению геолого-экономической эффективности методов подземной геофизики способствует их рациональное комплексирование с крупномасштабными наземными исследованиями в пределах разведываемых рудных полей.

В. Е. МИХАЙЛОВ, Н. Н. КЛЕНЧИН, Б. А. ПОНОМАРЕВ, Э. А. ТРУБОВ,  
В. М. КУЗЬМИН, А. С. БЕРМЕНИЧЕВ

(Северо-Казахстанское геолуправление Мингео КазССР)

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОФИЗИКИ НА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

### 1. Железные руды

В Северном Казахстане методы подземной геофизики (магнито-разведка, РВП, МЭК, МЗ) начали применяться с 1963 г., сопровождая поисково-разведочные работы на железо при проверке и оценке аномалий, оценке, предварительной и детальной разведке месторождений. Решались задачи: опонскования околоскважинного пространства, определения размеров, контуров, пространственного положения рудных тел и корреляции рудных подсечений в межскважинном пространстве.

Магнетитовые месторождения Главной железорудной полосы приурочены к комплексу вулканогенно-осадочных пород Валерьяновской металлогенической зоны. Вмещающими породами являются различные скарны и метасоматиты, а также измененные эффузивные и пирокластические породы среднего состава, редко известняки. Рудные залежи располагаются в области контакта интрузии и вмещающих пород или в зоне границы вулканогенных и карбонатных пород. Форма рудных тел пластообразная и линзовидная с целым рядом осложнений (пережимы, раздувы, ответвления, переход руд в скарны и др.), реже встречаются столбы, штоки и гнезда. Протяженность рудных зон и залежей от первых сотен метров до километра и больше, однако для каждого месторождения характерны и мелкие тела: 50—100 или 50—150 м по простиранию. Мощность от нескольких метров до первых сотен метров. Состав руд магнетитовый, в малом количестве присутствуют мушкетовит и гематит, а также сульфиды.

Физические свойства пород и руд выглядят следующим образом: вмещающие породы, как правило, слабомагнитные, их восприимчивость от 0 до  $8000 \cdot 10^{-6}$  ед. СГС, оруденелые скарны и руды обладают восприимчивостью от 27 000 до  $300\,000 \cdot 10^{-6}$  ед. СГС. Отношение проводимостей руд и вмещающих пород лежит в пределах 50—10. Такая дифференциация пород и руд по физическим свойствам обеспечивает благоприятные условия для постановки вышеуказанного комплекса методов. Ниже приводятся некоторые результаты.

а) **Проверка гравимагнитных аномалий.** Работы по магниторазведке и методу заряда, проведенные на стадии проверки аномалий, иллюстрируются результатами по скв. 111, пробуренной в эпицентре Северо-Талдыкульской гравимагнитной аномалии. Она является наиболее перспективным объектом глубинных поисков и южной части Главной железорудной полосы Тургая. Скважинами, пройденными в пределах аномалии в 1968 г. и имеющими глубины до 300 м, магнетитовое ору-

денение вскрыто не было. В 1973 г. была пробурена скважина 111 глубиной 932,2 м. В отличие от ранее пройденных, ею вскрыто несколько рудных интервалов и обнаружена широкая зона метасоматоза (рис. 1).

Особенностью вскрытого разреза является довольно большая плотность вмещающих пород 2,72—2,78 г/см<sup>3</sup> при невысокой их магнитной восприимчивости—30—100·10<sup>-6</sup> ед. СГС; плотность руд—3,12—3,84 г/см<sup>3</sup> и  $\chi$  руд—15000—100000·10<sup>-6</sup> ед. СГС. По данным методов стандартного каротажа (КС, ПС, гамма-каротаж—ГК) получены следующие результаты: сопротивление  $\rho_k$  руд не превышает 10—20 ом, вмещающих пород—300 ом, на диаграммах собственной поляризации рудные интервалы фиксируются минимумами  $U_{сп}$ , интенсивность естественной радиоактивности по скважине не превышает 5—10 мкр/час.

Кривая  $Z_a$  с глубины 630 м и до забоя находится в отрицательной области, что может быть обусловлено как крутым падением вскрытых рудных тел, так и наличием заскважинного магнитного объекта, уходящего на глубину, близкий подход к которому отмечается в интервале глубин 815—890 м локальной боковой аномалией интенсивностью до 8000 гамм.

По данным магниторазведки основной возмущающий объект располагается на северо-запад от скв. 111. Для уточнения этих данных и с целью изучения околоскважинного пространства относительно глубокозалегающих проводящих зон, перспективных на магнетитовое оруденение, был поставлен метод заряда.

По результатам работ на площади 1900 × 2000 м в окрестностях скважины 111 выявлены зоны повышенной электропроводности, предположительно связанные с магнетитовым оруденением.

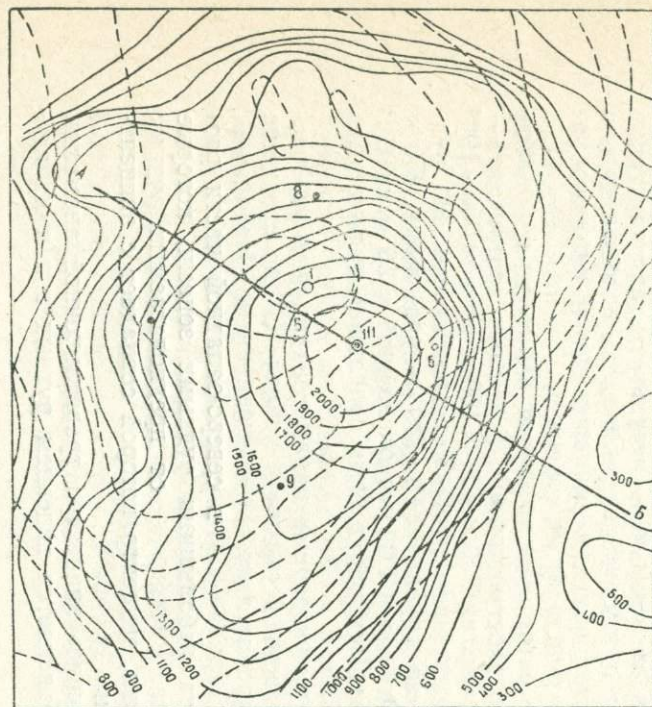
Расчет поля (линия АБ, рис. 1) от вскрытого скважиной 111 геологического разреза показывает, что магнитная аномалия  $Z_a$ , создаваемая породами, имеет локальный характер, высокие градиенты, достигая +1300 гамм, и находится в юго-восточной части общей аномалии. Остаточная аномалия интенсивностью +1600 гамм характеризуется сравнительно небольшими градиентами и расположена в зоне эпицентра гравитационной аномалии, что указывает на глубинный характер ее природы.

Данные скважинных исследований и результаты интерпретации наземной аномалии говорят о том, что скважина 111 вскрыла только восточное окончание рудного объекта, основная масса которого находится к западу и северо-западу от скважины.

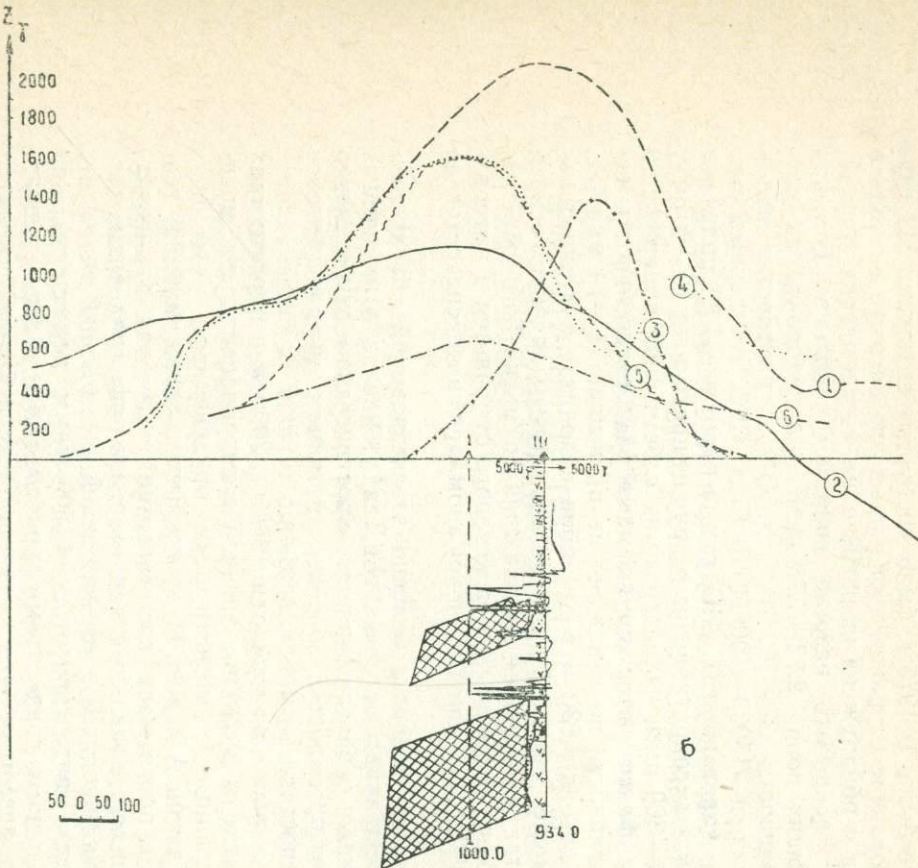
Количественный расчет остаточной наземной аномалии и боковых аномалий  $Z_a$  по скважине дает положение 2 рудных зон: первой—на глубине 300—460 м размерами 250 × 400 × 150 м с  $\chi=50\,000 \cdot 10^{-6}$  ед. СГС, являющейся продолжением на С-З вскрытых скв. 111 рудных пропластков; второй—на глубине 640—950 м размерами 450 × 350 × 1000 м с  $\chi=60\,000 \cdot 10^{-6}$  ед. СГС, расположенной в 50 м на С-З от скв. 111. В пределах этих зон могут быть отдельные рудные тела с  $\chi=100\,000 \cdot 10^{-6}$  ед. СГС.

Как видно из рис. 1, при указанных параметрах рудных зон расчетные кривые  $Z_a$ ,  $\Delta g$  по наземной съемке и кривая  $Z_a$  по скважине совпадают вполне удовлетворительно с наблюдаемыми. Небольшая недокомпенсация наземной кривой  $Z_a$  в северо-западной части разреза может быть объяснена небольшими рудными зонами, которые отмечаются методом заряда. Расчет  $\Delta g$  от предполагаемых рудных зон дает аномалию в 1,3 мгл, эпицентр которой совпадает с эпицентром наблюдаемой аномалии.

Таким образом, «смещение» эпицентра гравитационной аномалии относительно магнитной объясняется падением рудных зон и их глубоким залеганием.



а



б

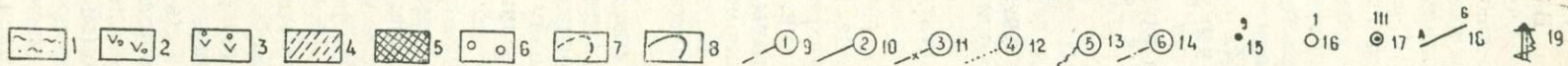


Рис. 1. План изолиний  $\Delta g$ ,  $\Delta Z$  (а) и результаты интерпретации полинии АБ (б).

1—суглинок; 2—порфириты; 3—диориты; 4—сланцы кремнистые; 5—предполагаемые рудные тела по данным скважинной геофизики; 6—магнетитовые руды по данным бурения; 7—изолинии  $\Delta g$ ; 8—изолинии  $\Delta Z$ ; 9—кривая  $Z_a$  наблюдаемая; 10—кривая  $\Delta g$  наблюдаемая; 11—кривая  $Z_a$  от геологического разреза; 12—кривая  $Z_a$  остаточная; 13—кривая  $Z_a$  от предполагаемых рудных тел; 14—кривая  $\Delta g$  от предполагаемых рудных тел; 15—пробуренные картировочные скважины; 16—проектируемые скважины; 17—разведочная скважина 111; 18—интерпретационный профиль АБ; 19—кривые  $\chi$  и  $\Delta Z$  по скважине.

Для вскрытия этих рудных зон рекомендуется бурение скважины 1 глубиной 1000 м, расположенной в 200 м на северо-запад от скв. 111 в эпицентре аномалии  $\Delta g$  и зоны электропроводности.

Исходя из размеров рудных зон и их физических свойств, прогнозные запасы магнетитовых руд нижней рудной зоны составляют 250,0 млн. т (коэффициент 0,5), а верхней—150,0 млн. т (коэффициент 0,3) при содержании железа 20—25%. Основная масса рудных тел расположена до глубины 1000 м. Более надежно формы, размеры рудных зон и запасы можно будет определить после бурения рекомендуемой скважины.

Необходимо отметить, что хотя скважиной 111 основная рудная залежь не вскрыта, все же результаты бурения ее и данные скважинных исследований подтвердили рудную природу II Северо-Талдыкульской аномалии, расположенной в южной части Главной железорудной полосы, что имеет большое значение для направления дальнейших геолого-геофизических работ в этом районе.

б) *Разведка месторождений.* Результаты применения подземной геофизики на разведочных стадиях показаны на примере разведки Алешинского магнетитового месторождения. Буровые работы здесь проводились по сети 200×200, 200×100 м. Комплекс каротажа включал в себя: магнитный каротаж ( $\chi$  и  $Z_a$ ), электрокаротаж (КС—ПС), гамма-каротаж, инклинометрию; комплекс подземной геофизики: магниторазведку, радиоволновое просвечивание (СРВП), электрическую корреляцию (МЭК).

Каротаж применялся для определения физических параметров пород в естественном залегании, выделения в разрезе скважин интервалов магнетитовых руд, определения количества железа в них, поисков магнетитовых рудных тел в районе скважин. Подземной геофизикой решались задачи взаимоувязки рудных подсечений, определения элементов залегания, морфологии, размеров рудных тел, поисков их в районе скважины и более рационального использования бурового метража. Надежные результаты по МЭК и РВП по увязке рудных подсечений получены при расстояниях между скважинами в 200 м. В этих условиях однозначно выделяются крупные межскважинные рудные тела (90×120 м). Рудные тела меньших размеров (30×50 м—40×50 м) уверенно фиксируются при расстояниях между скважинами до 150 м. Эффективный радиус исследования скважинной магниторазведки в зоне ограниченной экстраполяции составляет 90—100 м.

Экономия средств от применения скважинной геофизики на Алешинском месторождении складывалась за счет сокращения бурового метража и увеличения запасов руды. Прирост запасов осуществлялся, в основном, при интерпретации рудных тел в межскважинном пространстве и наращивании мощностей за счет неподсеченных частей. В 1973—1974 гг. сэкономлено бурового метража 750 м и увеличены запасы по категории  $C_2$  на 4,55 млн. т. Общий утвержденный экономический эффект составляет 200 тыс. руб.

Применение комплекса методов каротажа и подземной геофизики на месторождении позволили считать разреженную плотность сети 200×200 и 200×150 м достаточной для подсчета запасов промышленных категорий. В качестве примера приводятся результаты исследований по линии скважин 371—372—373—374—375 (рис. 2). Отстройка контуров рудных тел и увязка осуществлена по комплексу методов: магниторазведке, радиопросвечиванию, электрокорреляции. Как видно из рисунка, границы выклинивания рудных тел располагаются вблизи скважин 371, 373; в разрезе имеется два самостоятельных рудных тела, расположенных справа и слева относительно скважины 373; залега-

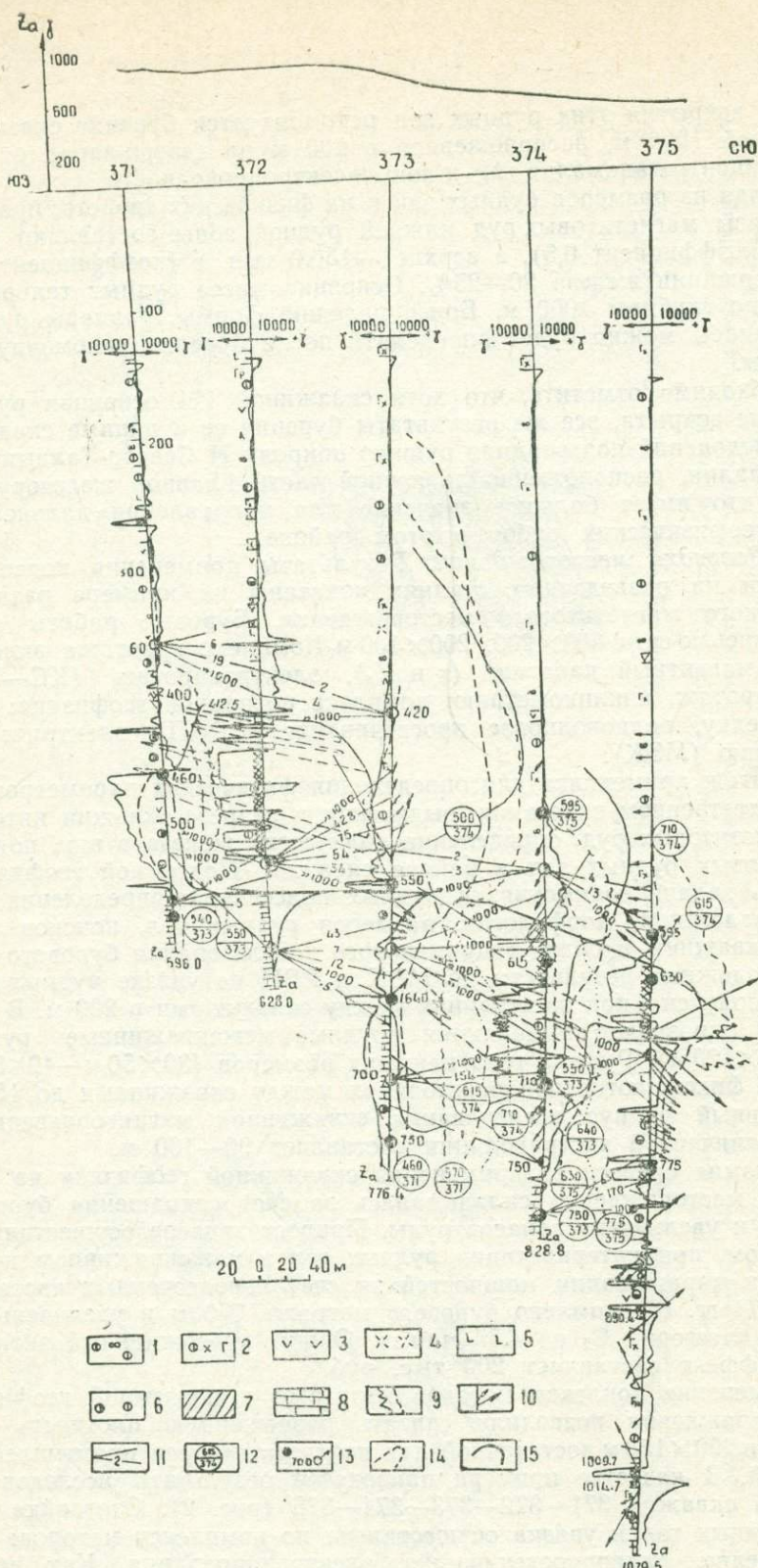


Рис. 2. Результаты интерпретации методов скважинной геофизики (магниторазведка, СРВП, МЭК) на Алешинском месторождении.

1—метасоматит хлоритовый; 2—метасоматит габбро-диорит измененный; 3—порфирит андезитовый; 4—диориты; 5—порфирит диабазовый; 6—хлорит-магнетитовый скарн; 7—магнетитовые руды; 8—известняки; 9—кривые  $\Delta Z$  и  $\chi$ ; 10—векторы  $Ta$   
 11—направление луча и величина коэффициентов поглощения; 12—кривые МЭК; 13—точки стоянок передатчика-приемника СРВП и точек зарядов МЭК; 14—контуры рудных тел по геологическим данным; 15—контуры рудных тел по данным скважинной геофизики.

ние их пологое; рудные подсечения скважины 375, расположенные ниже глубины 770 м, несут локальный характер, скважина 375 пересекла оконечность рудного тела. При определении контуров рудных тел прямая задача решалась на ЭВМ «Мир—1».

Следует отметить, что комплексирование геофизических исследований с бурением является эффективным на всех стадиях геологоразведочных работ, проводимых на железные руды, и дальнейшее развитие буровой сети при разведке месторождений надлежит выполнять с полным учетом информации, получаемой от результатов подземной геофизики.

## 2. Бокситы

Бокситовые месторождения Северного Казахстана в основном локализируются в платформенном чехле мезокайнозоя, представленного древней корой выветривания и осадками мелового времени. По физическому состоянию бокситы разделяются на каменистые, рыхлые, глинистые.

Поиски и разведка бокситов в настоящее время ведется с применением высокоточной скважинной магниторазведки. Дифференциация пород по магнитным свойствам (вмещающие породы—известняки, глины практически не магнитны: магнитная восприимчивость рыхлых бокситов от  $30$  до  $4000 \cdot 10^{-6}$ , глинистых от  $10$  до  $100 \cdot 10^{-6}$ , каменистых бокситов— $5000 \cdot 10^{-6}$  ед. СГС) позволила использовать метод для выделения бокситов в разрезе скважин, опосредованного пространства, определения размеров и пространственного положения залежей.

Поисковые работы, как правило, начинаются с проверки наземных магнитных аномалий. Для этого в эпицентре аномалий задаются скважины. Критерием дальнейшего разбуривания аномалии являются подсечения бокситов рудной зоны. Часто мощность подсечений настолько мала, что природа магнитной аномалии остается неопределенной. А иногда скважина, заданная в эпицентре, не подсекает бокситовой зоны и в таком случае аномалию относят к категории «безрудных» и дальнейшее ее разбуривание прекращается.

Форма рудных тел, их залегание, направление намагниченности в некоторых случаях таковы, что эпицентр аномалии может быть смещен относительно рудной залежи и скважина задана в стороне от нее. Во всех этих случаях возникает необходимость оценить, могут ли породы, вскрытые скважиной, объяснить наземную аномалию, как изменяется магнитное поле с глубиной, имеются ли магнитные аномалии в скважине от боковых рудных тел. Эти задачи решаются высокоточной скважинной магниторазведкой.

Глубина скважин проектируется обычно с таким расчетом, чтобы были вскрыты известняки, подстилающие бокситоносные отложения. Однако в некоторых случаях возможно наличие чередования пачек известняков и бокситов, и тогда прекращение бурения в верхней пачке известняков приводит к неправильной оценке мощности рудной залежи.

При подсчете запасов бокситов различных типов важной задачей является определение формы, размеров и элементов залегания рудных зон. Значительные трудности при подсчете запасов возникают также в связи с неточностью в определении глубины залегания и мощности отдельных литологических разностей пород и руд, обусловленные малым выходом керна.

Уменьшение вероятности ошибок как на стадии проверки аномалий, так и при детальной разведке рудных залежей возможно при испол-

зовании в комплексе с буровыми работами высокоточной магниторазведки. Эффективность ее показана по результатам исследования скважин Аятского месторождения магнитометром  $CM \Delta T (\Delta Z)$  (рис. 3).

Как видно из рисунка, данные измерений поля  $Z_a$  и  $\vec{T}_a$  позволили определить мощности заскважинных бокситовых тел, расстояние до выклинка и рекомендовать с целью проверки наличия этих тел бурение пяти скважин. Интерпретация кривых  $Z_a$  и  $\vec{T}_a$  сопровождалась построением диаграмм векторов  $\vec{T}_a$ , что позволяло определять не только геометрические параметры рудных тел, но и их пространственное положение. Преимуществом высокоточной скважинной магниторазведки является то, что посредством ее можно выявлять слабоинтенсивные аномалии в 40—50 гамм (порог чувствительности аппаратуры по  $\Delta T$  датчику—12, по  $\Delta Z$ —9 гамм), обусловленные бокситовыми телами, и по ее результатам проводить оконтуривание этих тел в заскважинном пространстве.

Из приведенных результатов видно, что работы методом высокоточной скважинной магниторазведки позволяют:

определить направление, расстояние от скважины и элементы залегания бокситовых залежей;

оценить рудоперспективность околоскважинного пространства в радиусе до 40 м.

### 3. Золото и медь

Поиски и разведка медно-сульфидных и золоторудных месторождений проводятся с целью опоискования околоскважинного пространства, выявления зон проводимости и связанных с ними рудных тел, определения их контуров, пространственного положения и идентификации рудных подсечений между скважинами.

Результаты применения комплекса методов скважинной геофизики и электрокаротажа (КС, ПС, МЭП) показаны по одному из месторождений золота. Оно располагается в зоне контакта гранодиоритов одного комплекса с прорывающими их гранитоидами второго комплекса, осложненного интенсивной тектоникой. Диориты и связанные с ними постепенными переходами габбро-диориты первой фазы одного комплекса слагают центральную, северную и западную части площади. По зонам дробления наблюдаются поэтапные процессы гидрогермального метасоматоза, выразившиеся в турмализации, окварцевании, обогащении сульфидами и оруденении золотом. Вдоль тектонической зоны золотое оруденение достигает промышленных концентраций. Всего на месторождении было исследовано более 200 скважин, по данным которых были получены следующие результаты.

Установлены средние физические параметры для отдельных литологических разностей пород и руд.

По значениям физических параметров построены карты средних значений с элементами тектоники, геоэлектрические разрезы и проведена увязка золото-сульфидных зон.

Полученные обобщенные данные о физических параметрах позволили выделить в разрезе отдельные разности пород и, самое главное, рудные интервалы.

Построенные карты средних значений дают возможность представить картину проекций на дневную поверхность элементов тектоники и геоэлектрических контактов, определенных как по характеру распределения физических полей, так и по данным скважинной геофизики. При построении проекций учитывались характерные особенности изменения физических полей.

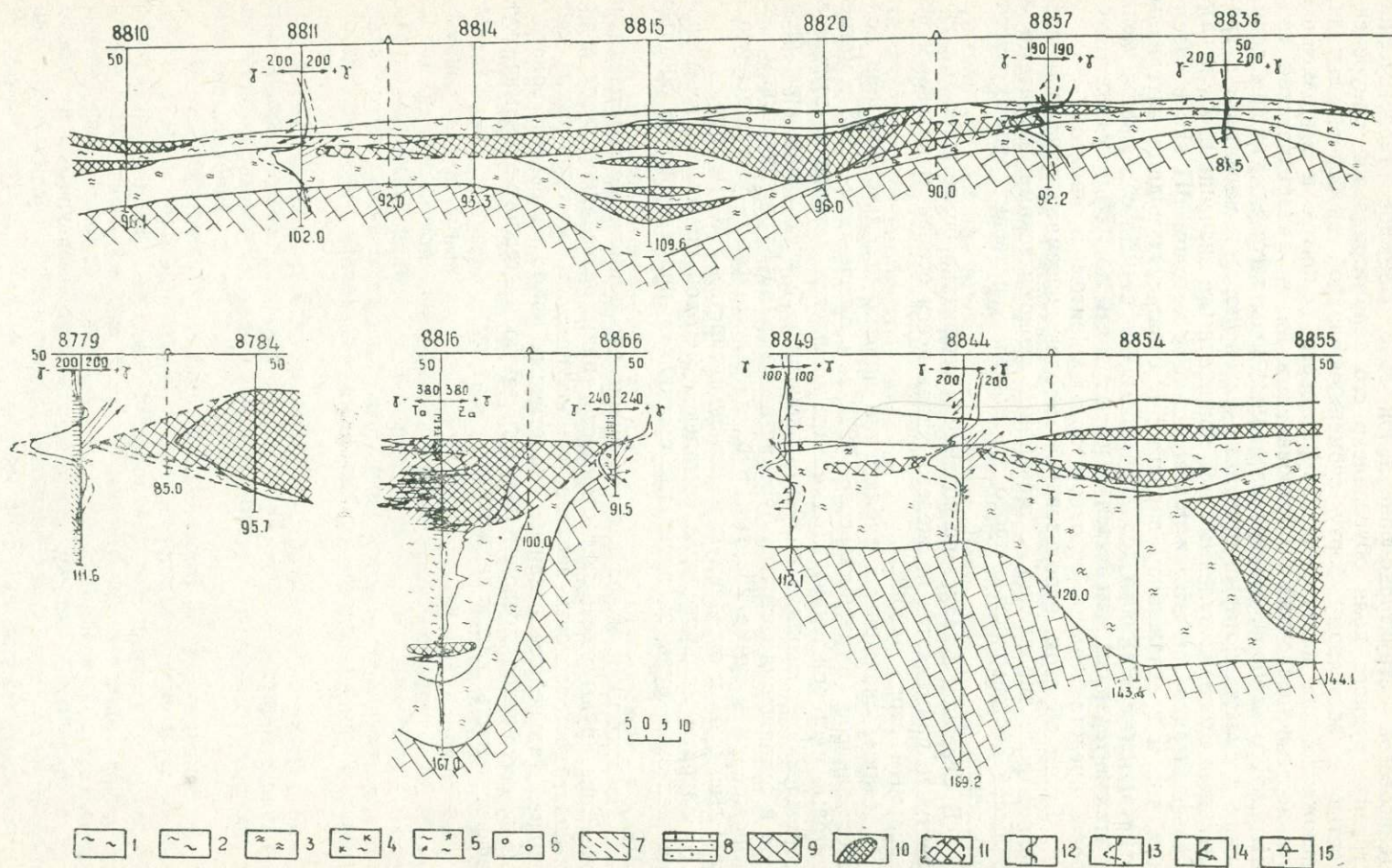


Рис. 3. Результаты высокоточной магнитометрии по скважинам 12-ой залежи Аятского месторождения.  
 1—суглинок; 2—глина бокситовая; 3—глина каолиновая; 4—глины серые, зеленоватые; 5—глины темно-серые, черные с растительными остатками; 6—бокситы рыхлые; 7—глина пестроцветная; 8—песчаники глауконито-кварцевые; 9—известняк; 10—контуры каменистого боксита по геологическим данным; 11—контуры бокситов по геофизическим данным; 12—кривая  $\Delta Z$ ; 13—кривая  $\ast$ ; 14—векторы  $T_a$ ; 15—проектные сважины.

Примером эффективного применения подземной электроразведки может служить Баталинское рудоуправление меди, расположенное в Денисовской структурно-фациальной зоне. Сложное геологическое строение рудного поля обусловлено его территориальной приуроченностью к восточному борту субмеридиональной грабен-синклинали, наложенной на каледониды Зауральского поднятия и выполненной вулканогенно-осадочными образованиями низов Валерьяновской свиты нижнего карбона. Минерализованные зоны тяготеют к зонам дробления и смятия, которые отчетливо фиксируются в магнитном и гравитационных полях нулевыми или пониженными значениями  $Z_a$  и  $\Delta g$ . Сульфидизация зон смятия подтверждается методом ВП как в наземном, так и в скважинном варианте. В скважинах рудные интервалы отмечаются аномалиями поляризуемости более 10%; содержание меди в этих интервалах колеблется от сотых долей до 7,5%. Рудные минералы представлены в основном халькопиритом и пиритом.

Таким образом, использование методов подземной геофизики позволяет целенаправленно, с меньшими экономическими затратами и большей достоверностью проводить поиски и разведку рудных месторождений.

В Северном Казахстане подземная геофизика более широко и эффективно применяется на железо, являющееся основным полезным ископаемым этого района.

Данные скважинных наблюдений широко использованы при подсчете запасов (Куржункульское—1972 г. и Алешинское—1975 г. магнетитовые месторождения). Применение комплекса методов на этих месторождениях позволило получить экономию за счет увеличения запасов и сокращения метража бурения скважин на Куржункульском месторождении в сумме 258 тыс. руб., на Алешинском—утвержденную в 200 тыс. руб. и ожидаемую на конец пятилетки 500 тыс. руб.

Затраты на проведение комплекса методов подземной геофизики на железные руды за пятилетие составляют ориентировочно 500 тыс. руб.

Из этих цифр и результатов видно, что применение геофизики на железные руды уменьшает стоимость тонны разведанной руды и повышает достоверность запасов, самоокупаемость методов также очевидна. Дальнейшее развитие аналогичных работ на боксит, золото и медь, несомненно, позволит получить такую же геолого-экономическую эффективность, как и на железо.

С. В. БАДАЛЯН, В. Б. ГАМОЯН, В. М. ТЕВОРКЯН, Р. В. ОВСЕПЯН  
Г. В. АРУТЮНЯН, Ф. М. ФИДАНЯН, З. В. ГАРИБЯН

(ИГИС АН АрмССР)

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОФИЗИКИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ МЕДИ АРМЯНСКОЙ ССР

Алавердский и Кафанский рудные поля, которым посвящена настоящая статья, являются одними из старейших горнорудных районов Кавказа. Известные здесь месторождения: Алавердское, Шамлугское, Ахталское, Анкадзорское, Шаумянское, Ленинские рудники и т. д. — разрабатывались еще в глубокой древности. Построенный на базе этих месторождений Алавердский медно-плавильный и Кафанский медно-обогащительный комбинаты являются одними из основных поставщиков меди на Кавказе. К началу сороковых годов разведанные запасы меди на месторождениях (Алаверди, Шамлуг, Ахтала) в значительной мере были разработаны. В послевоенные годы благодаря детальным геологоразведочным работам на флангах и глубоких горизонтах Шамлугского месторождения были выявлены новые значительные запасы медных руд, позволившие расширить добычу для нужд Алавердского медно-плавильного комбината. Были выявлены новые рудные тела полиметаллов и меди на Ахталском и Кафанском месторождениях. Однако выявленные запасы не могут считаться достаточными для снабжения расширенных по объему производства Алавердского и Кафанского комбинатов. В связи с этим с настоятельностью возник вопрос об изучении рудных полей Анкадзорского, Алавердского и Шаумянского месторождений.

За последние годы отдел рудной геофизики Института геофизики и инженерной сейсмологии АН АрмССР на договорных началах с Управлением геологии СМ АрмССР проводит комплексные геофизические исследования на указанных месторождениях с целью разработки рациональной методики геофизической разведки по оценке перспективности флангов и глубоких горизонтов. При этом важная роль принадлежит подземной геофизике, которая расширяет возможности выявления «слепых» рудных тел, их прослеживания и оконтуривания.

В настоящей статье представляются краткое геологическое описание Анкадзорского, Алавердского и Шаумянского месторождений, физические параметры пород и руд и некоторые результаты геофизических наблюдений.

В геологическом строении Анкадзорского месторождения принимают участие вулканогенные, вулканогенно-осадочные и осадочные образования, представленные порфиритами, их туфами и туфобрекчиями, липарито-дацитами, а также подчиненными толще порфиритов метаморфизованными известняками. Весь комплекс вышеуказанных пород, за исключением липарито-дацитов, прорван Сисибердской гранитоидной интрузией, слагающей юго-западный фланг рудного поля. В результате внедрения гранитоидной интрузии породы подвергались

интенсивным гидротермальным изменениям. Оруденение приурочено к зонам дизъюнктивных нарушений. В пределах рудного поля оруденение представлено медно-серноколчеданной и медно-гематитовой формациями. Рудные тела представлены жилами, линзами и прожилково-вкрапленным оруденением.

Район Алавердского месторождения характеризуется чрезвычайно широким развитием жильных пород, отмечающихся разнообразием состава, структуры, морфологических особенностей и возраста. Наиболее интенсивной с точки зрения рудоносности является Алавердская рудоносная зона, которая приурочена к крупной зоне тектонического нарушения. В морфологическом отношении руды представлены жилами, штоковидными и линзообразными телами, а также вкрапленным оруденением. По минералогическому составу среди жил преобладают пирит-халькопиритовые жилы.

В геологическом строении Кафанского рудного поля принимают участие, главным образом, вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы, представленные плагиоклазовыми, кварцевыми и кварц-плагиоклазовыми порфиритами, их туфами и туфобрекчиями. Шаумянское месторождение представлено жильным и прожилково-вкрапленным типом оруденения, сложенным пиритом, борнитом, сфалеритом и т. д.

На Анкадзорском, Алавердском и Шаумянском (Кафанское рудное поле) месторождениях с целью выбора рационального комплекса геофизических методов проводилось детальное изучение физических свойств горных пород и руд: удельного электрического сопротивления  $\rho$ , поляризуемости  $\eta$  и плотности  $\sigma$  в естественном залегании ( $\rho$ ,  $\eta$ ) и в лабораторных условиях ( $\sigma$ ). Результаты массовых определений физических свойств были подвергнуты математической обработке. Вычислены средние значения ( $\rho_{\text{ср}}$ ,  $\eta_{\text{ср}}$ ,  $\sigma_{\text{ср}}$ ), среднеквадратические отклонения ( $\sigma_{\rho}$ ,  $\sigma_{\eta}$ ,  $\sigma_{\sigma}$ ) и доверительные интервалы изменений ( $j_{\rho}$ ,  $j_{\eta}$ ,  $j_{\sigma}$ ) физических параметров пород и руд (таблица) [1, 3]. Как видно из таблицы, породы и руды вышеуказанных месторождений хорошо дифференцируются между собой по параметрам поляризуемости, удельного электрического сопротивления и плотности, что создает благоприятные предпосылки для применения методов естественного электрического поля (ЕП), вызванной поляризации (ВП), электрической корреляции (МЭК), блуждающих токов (БТ) и гравиразведки для решения поисковых и разведочных задач.

Как известно, на точность подземных измерений влияет ряд факторов, существенными из которых являются шахтно-рудничное оборудование, горные выработки, влажность пород и электрические помехи. Ввиду этого при подземных наблюдениях принимались все меры предосторожности, разработанные в ИГИС, для избежания или учета перечисленных факторов [2, 5].

Многолетние исследования на месторождениях Алавердского и Кафанского рудных полей позволяют выбрать оптимальный комплекс геофизических методов и методику подземных наблюдений для решения конкретных геологических задач [2, 5].

Для выявления и прослеживания «слепых» рудных тел в около-выработочном пространстве в комплекс геофизических исследований входили: на Алавердском месторождении—методы ВП, ЕП и БТ; на Анкадзорском месторождении—методы ВП, ЕП и гравиразведки; на Шаумянском месторождении—методы ВП, ЕП и сопротивлений.

С целью корреляции рудных обнажений в соседних выработках применялись метод электрической корреляции (на всех трех месторождениях) и блуждающих токов (на Алавердском месторождении).

Стадийность геофизических работ следующая. Проводятся техническая документация и разбивка изучаемых горных выработок. Затем все выработки изучаются методами ЕП и гравиразведки.

Метод ЕП применялся в потенциальном варианте с наращиванием профилей и с шагом наблюдения 10 м, а в аномальных участках— 5 м [4].

Гравиразведочные наблюдения проводились с шагом 5 м. Применялся гравиметр ГР/К2. Гравиметр устанавливался на прочной треноге высотой 50 см. Продолжительность рейса не превышала 2—3 ч. Наблюдения на каждом пункте производились в двух независимых рейсах. Каждый рядовой рейс опирался не менее чем на 2—3 опорных пункта. Опорные сети на различных горизонтах связывались многократными измерениями [7]. Вышеуказанные меры позволяют добиться точности измерений  $\pm 0,02—0,03$  мгл, которая позволяет реальными считать те аномалии, величина которых превышает 0,1—0,15 мгл.

Вслед за методами ЕП и гравиразведки на аномальных участках проводились исследования методами ВП, БТ и сопротивлений.

Работы по методам ВП и сопротивлений проводились, в основном в варианте срединного градиента [6]. Максимальные разности питающей линии до 800 м, расстояние между приемными электродами 20 м, шаг наблюдения 5—10 м. Время заряда при работе методом ВП составляло 2 мин. Работы методами ВП, ЕП и сопротивлений на Алавердском месторождении проводились при отключенной линии электропередач.

При рабочем состоянии электропередач на Алавердском месторождении применялся метод блуждающих токов. Параметром изучения распределения БТ принималось отношение приращений разностей потенциалов, регистрируемых на полевом и базисном пунктах [5]:

$$\Delta\Phi = \frac{\delta\Delta U_{\text{п}}}{\delta\Delta U_{\text{б}}},$$

где  $\delta\Delta U_{\text{п}}$ —приращение разностей потенциалов, регистрируемое на полевом пункте;

$\delta\Delta U_{\text{б}}$ —приращение разностей потенциалов, регистрируемое на базисном пункте.

Регистрация блуждающих токов производилась осциллографической записью с предварительным усилением сигнала. Применялась электроразведочная станция ВП—59. Шаг наблюдения 5—10 м.

Для оценки перспективности месторождения важную роль играет изучение сплошности рудных тел по падению и по простиранию. Решению этой задачи способствует применение методов электрической корреляции и блуждающих токов.

Ниже приводятся некоторые результаты комплексных геофизических исследований на Алавердском, Анкадзорском и Шаумянском месторождениях.

а) *Анкадзорское месторождение.* На рис. 1 представлены кривые  $U$  (ЕП),  $\eta_k$  и  $\rho_k$ , снятые по штольне 54 и на наземном профиле. В подземной выработке в районе рудных жил кривая ВП характеризуется аномальными значениями  $\eta_k = 35—40\%$ . Большой размер аномалии ВП по всей вероятности связан с расширением масштаба оруденения на нижних горизонтах, о чем и свидетельствует интенсивная отрицательная аномалия потенциала ЕП.

На поверхности земли над рудными жилами значение аномалии кривой  $\eta_k$  составляет 10%. Положительная аномалия силы тяжести здесь достигает 1 мгл. Отмечается отсутствие заметной аномалии потенциала ЕП. Низкие значения аномалии  $\eta_k$  и  $\Delta g$ , а также отсут-

Физические свойства горных пород и руд

Горные породы и руды	Основные рудные минералы	Характер оруденения
Гидротермально измененные породы	Пирит	Бедно-вкрапленные
Брекчии	"	"
Порфириды жильные	"	"
Рудные жилы:		
а) вдоль	Халькопирит	Массивно густо вкрапленные
б) вкрест напластования	"	"
Медно- и серноколчеданные ручные зоны	Пирит Сфалерит	Прожилково-вкрапленные
<b>2. Анкадзорское</b>		
Плагиоклазовые порфириды	Пирит	Бедно-вкрапленные
Вторичные кварциты	"	"
Фиолетовые липарито-дациты	—	"
Измененные порфириды и их туфы	—	"
Рудные жилы:		
а) вдоль	Халькопирит Пирит Арсенопирит	Массивно-прожилковые вкрапления
б) вкрест напластования	"	"
Рудные зоны	Сфалерит	Прожилково-вкрапленные
<b>3. Шаумянское</b>		
Кварц-плагиоклазовые порфириды (изм.)	Пирит Сфалерит	Бедно-вкрапленные
Дайка диабазовых порфиритов	Галенит	"
Породы зон нарушений	"	"
Рудные жилы и зоны:		
а) вдоль	Халькопирит Пирит Сфалерит	Жильные и прожилковые вкрапления
б) вкрест напластования	Галенит	"

на рудных месторождениях Армянской ССР

$\rho_k$ , Омм		$\gamma_k$ , %		$\sigma$ , г/см <sup>3</sup>	
$\frac{n}{\sigma_p}$	$\frac{\rho_{cp}}{I_p(\beta=90\%)}$	$\frac{n}{\sigma_{\gamma}}$	$\frac{\gamma_{cp}}{I_{\gamma}(\beta=95\%)}$	$\frac{n}{\sigma_{\sigma}}$	$\frac{\sigma_{cp}}{I_{\sigma}(\beta=98\%)}$
<b>медноколчеданное месторождение</b>					
160	105	162	2,2	230	2,72
0,190	50—200	0,320	0,5—8,0	0,07	2,55—2,87
164	340	73	1,9	216	2,73
0,390	70—1400	0,300	0,5—7,0	0,05	2,65—2,84
85	400	50	2,6	77	2,72
0,450	60—2900	0,360	0,5—13	0,04	2,62—2,84
45	2,0				
0,362	0,40—10				
32	33	50	22	96	3,55
0,224	11—90	0,720	0,5—60	0,37	2,80—4,20
40	100	70	12	80	2,95
0,303	90—25,0	0,328	2,5—40	0,12	2,70—3,25
<b>медноколчеданное месторождение</b>					
100	900	150	2,3	1320	2,68
0,270	310—2600	0,290	0,8—9,0	0,048	2,55—2,80
58	1400	65	2,5	240	2,70
0,253	500—4000	0,253	0,6—9,0	0,045	2,68—2,80
75	400	100	1,8	175	2,48
0,301	140—1300	0,253	0,7—6,0	0,05	2,38—2,60
121	90	115	1,9	120	2,62
0,370	25—350	0,260	0,5—6,0	0,07	2,45—2,76
85	9,0				
0,420	2,0—50				
35	150	95	20	200	3,20
0,190	70—800	0,228	7—60	0,30	2,70—3,90
55	340	30	10		
0,224	150—1000	0,253	3,0—30		
<b>полиметаллическое месторождение (Кафанское рудное поле)</b>					
53	140	55	2,3	140	2,68
0,372	40—600	0,340	0,8—6,5	0,025	2,58—2,80
30	600	30	1,0	40	2,72
0,233	200—1400	0,195	0,45—2,5	0,045	2,65—2,77
35	73	32	0,8	35	2,50
0,215	30—160	0,147	0,4—15	0,078	2,32—2,68
69	50				
0,240	20—125				
84	175	115	12	350	3,00
0,275	65—500	0,254	4—35	0,185	2,60—3,45

ствие аномалии  $U$  (ЕП) указывает на то, что рудные жилы, пересеченные штольней 54, имеют небольшое протяжение по восстанию.

При анализе кривой  $\Delta g$  особое внимание привлекает положительная аномалия с интенсивностью 1,3 мгл, полученная на наземном профиле в интервале пикетов 220—260. По всей вероятности, на этом участке существует «слепое» рудное тело, что подтверждается локальной отрицательной аномалией потенциала ЕП.

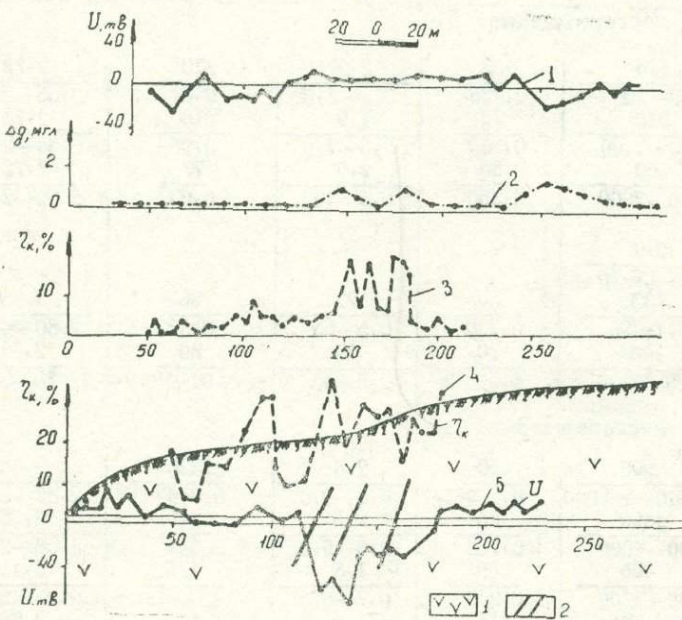


Рис. 1. Геологический разрез по штольне 54 Анкадзорского месторождения и кривые  $U$  (ЕП),  $\eta_k$  и  $\Delta g$ , снятые на поверхности земли (кривые 1, 2, 3) и в штольне (кривые 4, 5).  
1—порфириты; 2—рудные жилы.

Судя по представленным результатам геофизических исследований, для выявления и прослеживания рудных тел на Анкадзорском месторождении меди можно рекомендовать методы ЕП, ВП и гравиразведки.

б) *Алавердское месторождение.* На рис. 2 представлены некоторые результаты исследования горизонта штольни 6 методами ВП, ЕП и БТ. Источником блуждающих токов служили контактные электровозы, работающие на горизонте штольни 5, расположенном ниже исследуемой выработки на 60 м.

В левой части разреза известные рудные жилы влияют на поведение всех трех кривых, вызывая аномалии. Причем аномалии, вызванные рудными жилами в интервале пикетов 580—620, более интенсивные, что связано с их большими размерами и высоким содержанием сульфидных минералов. Интенсивность аномалии  $\eta_k$  здесь достигает 30%, что соответствует поляризуемости медноколчеданных руд сплошного оруденения. Значение аномалии  $\Delta\psi$  ( $\pm 10$  единиц) соизмеримо с отношением удельных электрических сопротивлений пород и руд, что подтверждает сплошность рудных жил между горизонтами штолен 5 и 6 [5]. Аномалия ЕП также имеет высокие значения и ха-

рактируется отрицательным потенциалом, что связано с большим протяжением рудных жил на глубину [4].

Аномалии, вызванные рудными жилами, пересекаемые горной выработкой в интервале пикетов 500—540, менее интенсивны, что связано с их ограниченными размерами и низким содержанием сульфидных минералов. В правой части разреза привлекает внимание аномальная область в интервале пикетов 880—980 с большими значениями параметров  $U$  (ЕП),  $\eta_k$  и  $\Delta\psi$ . В результате количественной интерпретации аномалий сделано предположение о наличии рудного тела с горизонтальным размером примерно 40 м, расположенного ниже горизонта штольни 6 на 30 м (в районе контакта туфобрекчий и ороговикованных порфиритов).

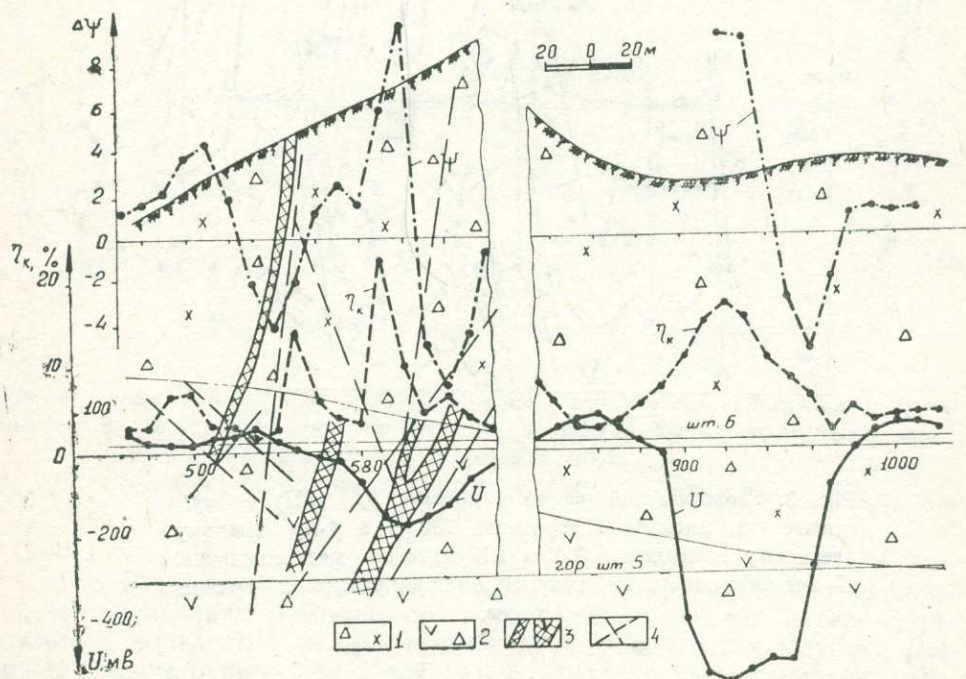


Рис. 2. Геологический разрез и кривые  $U$  (ЕП),  $\eta_k$ ,  $\Delta\psi$ , снятые по штольне 6 Алавердского месторождения.

1—туфобрекчии андезитового и дацитового состава; 2—андезитовые порфириты; 3—габбро-диабазы и габбро-порфириты, жильные; 4—рудные жилы.

Представленные геофизические материалы подтверждают высокую эффективность методов ЕП, ВП и БТ на Алавердском месторождении.

в) *Шаумянское месторождение*. Рис. 3 изображает результаты подземных геофизических наблюдений в штольне 1 горизонта 780 м и в 1-ом южном квершлага горизонта 700 м. Кривые геофизических полей характеризуются резкими изменениями, что вполне соответствует сложному геологическому строению изучаемого разреза.

На горизонте 780 м аномальные значения  $\eta^k$  в районе рудных жил сплошного оруденения достигают 23%. На нижнем горизонте, где содержание сульфидных минералов более низкое, аномальные значения  $\eta^k$  не превышают 12%.

Кривая ЕП в штольне 1 характеризуется отрицательными аномалиями с потенциалом до  $-420$  мв. Сверху вниз абсолютное значение потенциала уменьшается и на горизонте 700 м становится равным  $+100 \div -280$  мв. Имея в виду дипольный характер распределения естественного поля, можно предполагать, что рудные тела распространяются ниже горизонта 700 м на 160—240 м [5].

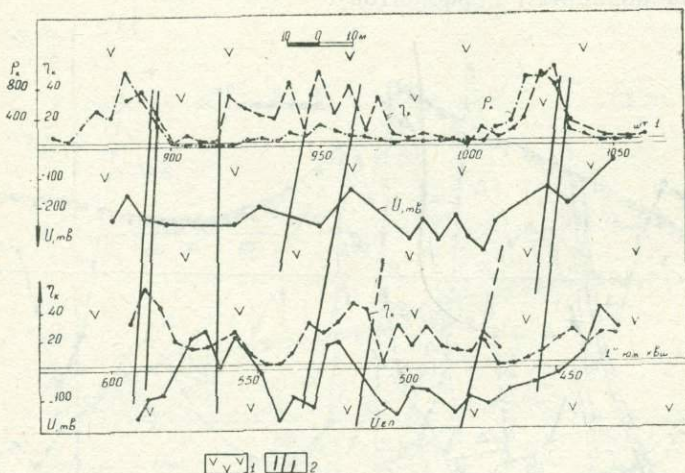


Рис. 3. Геологический разрез и кривые  $U$  (ЕП),  $\eta^k$ ,  $\rho^k$ , снятые по штольне 1 горизонта 780 м и 1-му южному кваршлагу горизонта 700 м Шаумянского месторождения. 1—андезито-дацитовые кварцевые порфиры; 2—рудные жилы.

На кривой  $\rho^k$  в пределах всех рудных жил отмечается повышение плотности тока электрического поля, что вполне соответствует теории электроразведки.

На рис. 4 представлены некоторые результаты подземных наблюдений методом электрической корреляции, проведенные на участке Шаумянского месторождения. Корреляция выполнена с целью выявления сплошности рудных обнажений в штольне 1 горизонта 780 м и в кваршлаге 1-й южный горизонта 700 м. Зарядные электроды  $A_1, A_2, \dots, A_6$  заземлены на рудных обнажениях в штольне 1. Наблюдения выполнены в кваршлаге.

Результаты геофизических исследований представлены в виде теоретических и экспериментальных кривых потенциала, нормированного по силе тока. Теоретические кривые рассчитаны для зарядных электродов  $A_2$  и  $A_6$ , принимая однородную среду с удельным сопротивлением, равным сопротивлению порфиритов ( $\rho = 140$  ом).

Расхождение экспериментальных и теоретических кривых в районе сплошных рудных жил 18 и 29 составляет 40 и 50 мв соответствен-

но. В сторону рудных жил 30 и 31 это расхождение резко снижается и исчезает. Такое поведение кривых указывает на отсутствие сплошности рудных жил между изучаемыми горизонтами.

Все рудные жилы, коррелируемые между горизонтами 700 и 780 м, четко фиксируются аномалиями. Прерывающиеся рудные жилы, в зависимости от размера распространения между горизонтами, либо не отмечаются (жилы 20, 26, 28 и 30), либо отмечаются слабыми аномалиями (жила 31).

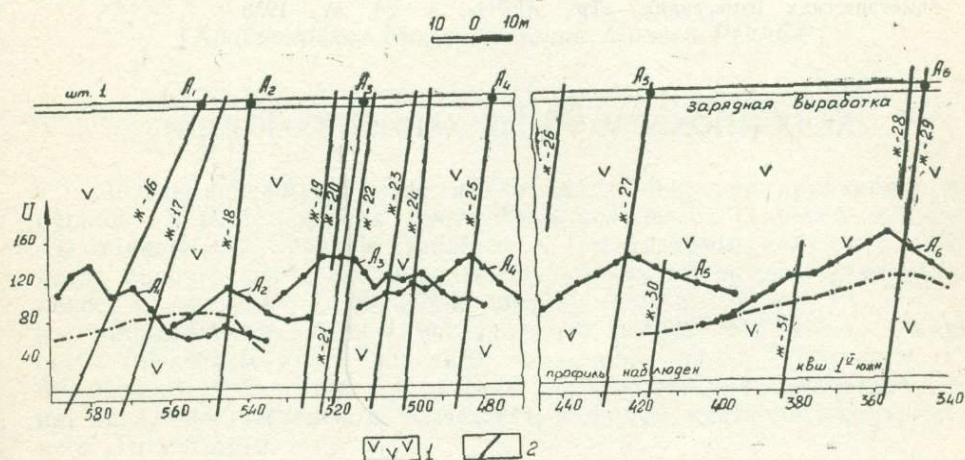


Рис. 4. Геологический разрез и кривые метода электрической корреляции, полученные в 1-ом южном квершлагае горизонта 700 м, при расположении зарядных электродов в штольне 1 горизонта 780 м.

1—андезито-дацитовые кварцевые порфириты; 2—рудные жилы.

Разработанные комплексы геофизических методов применялись на месторождениях Алавердского и Кафанского рудных полей. В результате выявлены «слепые» рудные скопления, оценена глубина распространения рудных тел и оруденения участков месторождений, прослежены рудные жилы и зоны по простиранию и т. д. [2, 5]. Применение комплексных геофизических методов на всех месторождениях способствовало повышению технико-экономической эффективности поисково-разведочных работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бадалян С. В., Геворкян В. М. Об изучении электрических свойств горных пород и руд на рудниках в зависимости от геологических условий.—«Изв. АН АрмССР, Науки о Земле», т. 25, № 1, 1972.
2. Бадалян С. В. Подземная электроразведка методом вызванной поляризации на рудных месторождениях Армении. Канд. дис., МГРИ, 1972.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятности. М., Госиздат, 1962.

4. *Гамоян В. Б.* К вопросу применения метода естественного электрического поля в подземных горных выработках.—«Изв. АН АрмССР, Науки о Земле», т. 23, № 2, 1970.
5. *Гамоян В. Б.* Применение естественных электрических полей и полей промышленных блуждающих токов в подземных горных выработках при решении поисково-разведочных задач. Канд. дис. Ереванский гос. ун-т, 1972.
6. *Комаров В. А.* Электроразведка методом вызванной поляризации. М., «Недра», 1972.
7. *Мудрецова Е. А.* К интерпретации аномалий силы тяжести при подземных гравиметрических измерениях.—«Тр. МГРИ», т. 36, М., 1958.

П. Д. РЯБИНОВ, А. В. ПЕЧЕРСКИЙ, Е. Б. ФЕЙГИН

(Красноярское геолуправление Мингео РСФСР)

## ПОДЗЕМНАЯ ГЕОФИЗИКА НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Методы подземной геофизики наиболее широкое применение получили на железорудных месторождениях Алтае-Саянской складчатой области и в Среднем Приангарье. Исследования ведутся с 1964 г., когда впервые были опробованы скважинная магниторазведка в комплексе с каротажем магнитной восприимчивости.

Значительные объемы исследований сосредоточены на Абаканском, Анзаском месторождениях Западного Саяна; Табратском, Хабальском, Ирбинском, Бурлукском месторождениях Восточного Саяна; Тагарском, Огненском, Кычетском и других месторождениях Среднего Приангарья.

Решаются задачи по выделению в разрезах рудных подсечений, уточнению геологического строения изучаемых месторождений, поискам рудных тел в околоскважинном и призабойном пространствах, определению элементов залегания рудных тел, переводу запасов руд в более высокие категории, оценке глубинных и фланговых частей геологических разрезов, определению формы, морфологии и мощности рудных залежей.

Геофизические исследования в скважинах проводятся на различных стадиях геологоразведочных работ, включая поиски, предварительную и детальную разведки

При поисках данные скважинной геофизики используются в целях расшифровки природы наземных аномалий и обнаружения рудных объектов в околоскважинном и призабойном пространствах.

На этапе предварительной разведки производится промышленная оценка месторождений по относительно разреженной сети скважин.

При детальной разведке подземная геофизика привлекается для уточнения мощности, строения, морфологии и элементов залегания рудных тел.

Применяется комплекс методов, включающий каротаж (магнитная восприимчивость) и скважинную геофизику (повсеместно векторная магнитометрия, частично РВП и МЭК).

Наряду с этим производится опонискование скважин гамма-каротажом, определение траектории бурения инклинометрией, оценка гидрогеологических параметров водоносных горизонтов с помощью резистивиметрии и расходомерии.

Благоприятным фактором для применения скважинной магниторазведки являются высокие магнитные характеристики рудных тел и зон.

Руды большинства месторождений обладают магнитной восприимчивостью, достигающей  $225\,000 \cdot 10^{-6}$  СГС и остаточной намагниченностью в  $155\,000 \cdot 10^{-6}$  СГС. Значительная магнитность руд обуславливает формирование магнитных аномалий по скважинам от объектов,

даже весьма удаленных от выработок, что является надежным поисковым критерием. Практически на железорудных месторождениях края эффективно обнаруживаются промышленно значимые рудные массы на расстояниях до 200—300 м. Объем исследований методами подземной геофизики из года в год систематически расширяется и увеличивается.

Метод	Ед. изм.	1970	1971	1972	1973	1974	1975 (первая половина)
Магниторазведка	Тыс. пог. м	26	32	37	42	45	68,2
МЭК	"	—	5,1	6,2	8,8	10,1	5
РВП	"	—	4,0	5,2	12,1	18,8	12,4

Магниторазведочные исследования скважин выполняются аппаратурой ҚСМ—38, ТСМҚ—40, ТСМ—3, ТСМҚ—30.

Измерения составляющих напряженности магнитного поля проводятся непрерывным способом регистрации при масштабе в 2000 и 4000 гамм на сантиметр диаграммной ленты.

Выделение магнитных аномалий по скважинам осуществляется путем расчетов относительных значений напряженности поля на контрольных пунктах, выбранных в пределах уровней геомагнитных полей для каждого исследуемого месторождения.

Пространственное положение ствола скважин определяется с помощью инклинометрии, проводимой гидроскопическими инклинометрами ИГ—50.

В процессе обработки геофизических материалов широко используется оперативный анализ, выполняемый в несколько этапов: интерпретация по отдельным скважинам или интервалам исследований; обобщающая интерпретация по разведочной линии или группе скважин; моделирование месторождения и построение полей для модели.

На всех этапах рекомендации передаются геологоразведочным организациям.

Расчеты физических полей проводятся с помощью электронно-числительных машин «Наири—С» и «Минск—32». Сотрудниками Южной геофизической экспедиции КГУ разработаны для ЭВМ «Наири—С» программы обработки магнитометрических измерений в скважинах по существенно сокращенной и упрощенной схеме, удобной для практического применения работниками средней квалификации.

В последние годы предприняты конкретные шаги в направлении применения каротажа магнитной восприимчивости для целей определения содержания железа в разрезах скважин.

Своими силами разработан и изготовлен двухкатодный скважинный измеритель магнитной восприимчивости (ИМВ—50) с диаметром скважинного снаряда 50 мм.

Благодаря успешному применению методов подземной геофизики на месторождениях юга Красноярского края достигнут значительный экономический эффект в сумме 200 тыс. руб. (1970—1974 гг.). Основной вклад в получение этого эффекта дает сокращение буровых работ.

Рекомендации на своевременное закрытие скважин при обеспечении полноты решения геологических задач с помощью скважинной геофизики позволили уменьшить объем буровых работ в среднем за год на 1800 пог. м.

Модернизация, частичная реконструкция аппаратуры и совершенствование методики исследований позволили усилить эффективность

скважинных наблюдений. Наиболее существенными разработками являются стэнд для регулировки и балансировки гироскопических инклинометров ИГ—50, программы вычислений на ЭВМ; модернизация скважинных магнитометров ТСМК—30 и ряд других.

Широкое применение методов скважинной геофизики, совместно с геологическими работами, привело к значительным поисковым результатам.

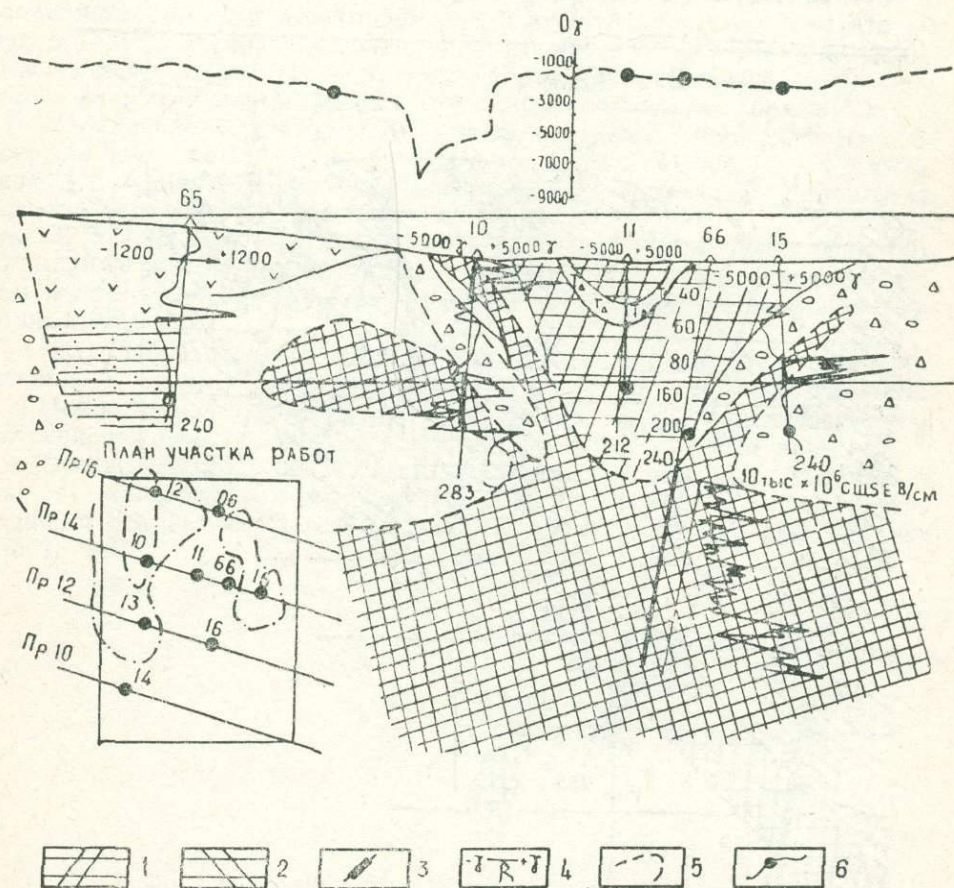


Рис. 1. Геологический разрез по разведочной линии 14 Кычетского месторождения и результаты интерпретации геофизических данных.

1—область гематит-магнетитовых руд; 2—область предполагаемой рудной зоны по геофизическим данным; 3—интервалы вскрытых магнетитовых руд бурением, подтвержденные данными каротажа; 4—кривая напряженности магнитного поля; 5—контакты рудных объектов по геофизическим данным; 6—расчетные значения магнитного поля.

Так, эти методы в значительной степени способствовали открытию нижнего рудного этажа Абаканского месторождения. В процессе последующих геологоразведочных работ на этом объекте скважинной геофизикой успешно решаются задачи по уточнению геологических разрезов, положения и размеров рудных тел. При этом надежно, с достаточной полнотой оцениваются перспективы не вскрытых частей разрезов. Так, моделирование и расчеты на ЭВМ позволили выявить до-

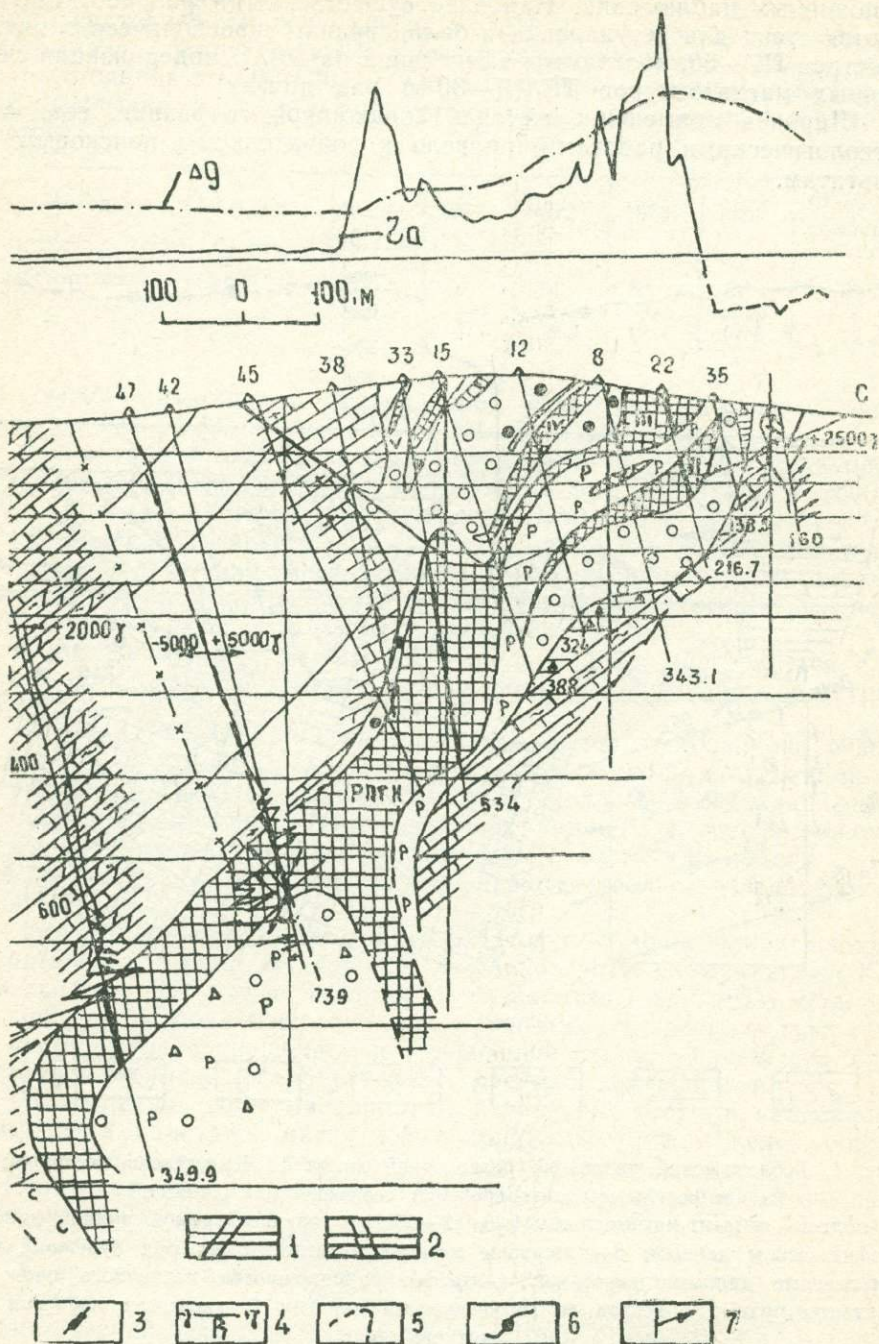


Рис. 2. Геологический разрез по разведочной линии 24 Огнеского месторождения и результаты геофизических наблюдений.

1—область гематит-магнетитовых руд; 2—область предполагаемой рудной зоны по геофизическим данным; 3—интервалы вскрытых магнетитовых руд бурением, подтвержденные данными каротажа; 4—кривая напряженности магнитного поля; 5—контуры рудных объектов по геофизическим данным; 6—расчетные значения магнитного поля; 7—векторная диаграмма магнитного поля.

полнительную рудную залежь. Кроме того положительно оценены перспективы неразведанных бурением западного и восточного флангов месторождения. Открытие рудной залежи Центрального участка Бурлукского месторождения в определяющей степени является заслугой скважинной геофизики.

Первостепенное значение сыграли данные скважинной геофизики в оценке перспектив глубинных горизонтов Кычетского месторождения Среднего Приангарья.

На этом месторождении геофизические данные, полученные по скважинам 10, 11 и др. (пробуренные по зоне гематит-магнетитовых руд до определенной глубины), не могли быть объяснены уже вскрытыми рудами (рис. 1) и поэтому было рекомендовано бурение с целью вскрытия новых рудных тел на более глубоких горизонтах.

Пройденная с учетом геофизических рекомендаций скважина 66 вскрыла зону магнетитовых руд в интервале 255—506 м. На Огненском месторождении того же Среднего Приангарья поинтервальные исследования скважин выявили тенденцию формирования возрастающих к забою магнитных аномалий положительного знака (рис. 2). Аномалии, рассматриваемые как «призабойные», дали основание рекомендовать углубление скважин с целью возможного вскрытия глубинных руд.

Углубление скважин привело к вскрытию мощной рудной залежи, которая в значительной степени расширила запасы месторождения.

Немаловажную роль играет геофизика в определении направления бурения, которое практически не смыслится без учета ее данных.

Таким образом, подземная геофизика при поисках, разведке и оценке железорудных месторождений в Красноярском крае прочно вошла в используемый геологоразведочный комплекс на всех стадиях работ.

Ю. В. ГРИШИН, К. А. БАТЫРГОЖИН

(Алтайская геофизическая партия Минцветмета КазССР)

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОФИЗИКИ НА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РУДНОГО АЛТАЯ

За последние годы на Рудном Алтае подземная геофизика получила широкое развитие. Практически на всех эксплуатируемых месторождениях проводятся работы методами электрической корреляции и радиоволнового просвечивания. В меньшем объеме проводятся работы гравиразведочные и методом дипольно-электромагнитных исследований (ДЭМИ). Для уточнения местоположения и выделения пропущенных при бурении, вследствие низкого выхода керна, проводящих рудных подсечений используется каротаж методом скользящих контактов. Для отбраковки проводящих интервалов нерудного происхождения служат данные гамма-гамма или рентгенорадиометрического методов. Определение контрастности руд и горных пород по электрическому сопротивлению проводится методом симметричного электрического профилирования.

Подземные методы геофизики применяются на всех стадиях разведки—от поисков рудных тел на флангах и нижележащих горизонтах до детальных работ на стадии эксплуатационной разведки.

Конечно, в таком крупном регионе, как Рудный Алтай, имеются разные типы месторождений, мелких и крупных. Встречаются разные типы руд—от прожилково-вкрапленных с нечеткими контактами до сплошных с явно выраженными контактами. По вещественному составу это полиметаллические и медноколчеданные руды.

По характеру оруденения и физическим свойствам все рудные тела нами условно разделяются на три группы:

1. Рудные тела, сложенные сплошными полиметаллическими и медноколчеданными рудами с четкими контактами. Электрическое сопротивление таких руд колеблется в пределах 0,3—180 ом при сопротивлении вмещающих пород от 1500 до 5300—15 000 ом, а избыточная плотность их равна 0,6—1,5 г/см<sup>3</sup>. К этой группе относятся рудные тела Белоусовского и некоторые рудные тела Ново-Березовского, Золотушинского и Снегиревского полиметаллических месторождений.

2. Во вторую группу входят тела прожилково-вкрапленного оруденения с нечеткими контактами, условно устанавливаемыми по данным опробования. Избыточная плотность их равна 0,17—0,36 г/см<sup>3</sup>, а электрическое сопротивление в среднем равно 200—700 ом при сопротивлении вмещающих пород 1500—15 000 ом. В эту группу входят руды второй зоны вкрапленников Зырянского месторождения и некоторые рудные тела Риддер-Сокольного и 2-го Греховского месторождений.

3. В третью группу нами включены рудные тела, сложенные сплошными и вкрапленными рудами. Эта группа является как бы переходной между первой и второй. Избыточная плотность этих руд колеблется от 0,17 до 1,5 г/см<sup>3</sup>, а электрическое сопротивление варьи-

рует в пределах 0,3—700 ом при сопротивлении вмещающих пород, аналогичном первой и второй группам. К этой группе относится большинство рудных тел Зырянского, Снегиревского, 2-го Греховского, Ново-Березовского, Иртышского, Золотушинского и Риддер-Сокольного полиметаллических месторождений.

Если сгруппировать рудные тела по их выдержанности по простиранию и падению, то можно выделить два типа рудных тел. К первому относятся рудные тела, более выдержанные по простиранию по сравнению с падением, ко второму—рудные тела с характерной выдержанностью по падению по сравнению с простиранием.

Разведка месторождений с рудными телами первого типа ведется путем бурения веера скважин в разрезе. Расстояние между веерами от 10—12 до 40—45 м. В каждом веере от 2—3 до 5—7 скважин, т. е. рудные тела по падению пересекаются через 5—20 м. Разведка таким способом ведется на Белоусовском, Иртышском, Ново-Березовском, Золотушинском и Риддер-Сокольном месторождениях.

Разведка месторождений с рудными телами второго типа ведется путем проходки штреков, а затем ортами и скважинами на уровне горизонта, причем орты и скважины чередуются. В сложных случаях, когда наблюдается резкое различие в морфологии рудных тел, на соседних горизонтах проводится разведка на промежуточных горизонтах. В этих случаях над скважиной основного горизонта проходит орт и наоборот. Расстояние между скважинами на горизонте 60 м, а орты проходят между скважинами, т. е. рудные тела пересекаются через 30 м. К месторождениям второго типа относятся Снегиревское, 2-е Греховское и Зырянское.

На всех месторождениях геофизическими методами решаются одни и те же задачи:

- 1) корреляция рудных тел между скважинами и горными выработками;
- 2) определение контуров рудных тел в межскважинном и межвыработочном пространствах;
- 3) поиски «слепых» рудных тел между скважинами, горными выработками и вблизи одиночных горных выработок.

Первая задача на месторождениях первого типа успешно решается методом электрической корреляции (МЭК).

На месторождениях второго типа часто приходится вместо МЭК применять метод дипольной электрической корреляции (МДЭК), так как скважины и горные выработки обычно проходят вкрест рудных тел.

На обоих типах месторождений корреляция сплошных рудных тел и рудных тел, сложенных сплошными и вкрапленными рудами, в основном, не вызывает затруднений. Здесь возникают трудности только чисто технического порядка, так как обычно на всех месторождениях имеются интенсивные электрические помехи.

Корреляция прожилково-вкрапленного оруденения затруднительна, так как такие руды незначительно отличаются от вмещающих пород по электрическому сопротивлению, а имеющиеся в рудах прожилки с хорошей проводимостью, как правило, изолированы друг от друга и установить по ним протяженность рудного тела довольно трудно, даже вообще невозможно.

Определение контуров рудных тел в межскважинном и межвыработочном пространствах производится методами РВП и МЭК. Обычно задачи по увязке рудных тел и определению контуров решаются одновременно, так как в подавляющем большинстве разрезов и планов имеются рудные тела, как увязывающиеся по соседним скважинам или выработкам, так и выклинивающиеся между ними.

Поиски «слепых» рудных тел осуществляются методами РВП, ДЭМП, МЭК и гравиразведки.

Остановимся вкратце на методике проводимых исследований.

Работы по методу МЭК проводятся по схеме потенциала. Электрод  $N$  располагается у устья измерительной скважины или в забое измерительной выработки, при этом учитывается простирание и падение изучаемых рудных тел. Электрод  $N$  устанавливается так, чтобы потенциал электрического поля в точке  $N$  всегда был меньше потенциала в точках  $M$ . Если не соблюдать этого правила, то при работах с аппаратурой низкой частоты—типа ИКС—50 график потенциала будет иметь форму волны и интерпретация таких графиков в некоторых случаях становится невозможной. Если из-за ограниченного числа выработок и скважин нельзя выполнить это условие, то применяется специальная приставка для определения полярности сигнала [1]. Точки зарядов в скважинах выбираются по данным каротажа методом скользящих контактов, а в выработках—по данным симметричного электрического профилирования.

Электрод  $B_{\infty}$  относится по выработкам на 400—500 м и по возможности заземляется вдали от рельсов. В скважинах применяются электроды типа «фонарь» или щеточные; в скважину они подаются при помощи дюралюминиевых штанг.

При поисках «слепых» рудных тел применяется пересчет графиков потенциала в графики  $U \cdot r$ , где  $U$ —потенциал в точке наблюдения,  $r$ —расстояние от точки заряда до точки наблюдения.

По этим графикам удобнее выделять аномальные участки, потому что для поля точечного источника в изотропном пространстве график  $U \cdot r$  представляет собой прямую линию, так как  $U \cdot r = \frac{I\rho}{4\pi} = \text{const}$ .

В методе радиоволнового просвечивания используется аппаратура АЭММ—3, АЭММ—3С и АРП—3 на частотах 2048, 512 кГц и 10, 18 мгц.

Отмечено, что при работах в скважинах на результатах измерений обычно сказывается влияние приемного кабеля, так как в этой аппаратуре принимаемый сигнал по коаксиальному кабелю идет непосредственно на пульт приемника без предварительного преобразования частоты. Поэтому кабель играет роль дополнительной антенны. Для уменьшения этого влияния приходится скважинный генератор всегда располагать дальше приемной антенны, что ограничивает возможности метода.

При работах в горных выработках генератор обычно устанавливается не ближе 25 м от искусственных проводников (троллей, силовые кабели и т. д.). Если этого условия нельзя вылолнить, то работы вообще не проводятся. Интерпретация материалов осуществляется способом засечек и лучевым способом.

Работа по методу ДЭМП проводится с аппаратурой АЭММ—3 и АЭММ—3С на частотах 2048 и 512 кГц. Применяются установки  $H_z^z$ ,  $H_y^y$  и  $H_x^x$ . Размеры установок, т. е. расстояния между приемником и передатчиком, равняются 10—100 м.

Подземная гравиразведка на предприятиях Рудного Алтая проводится гравиметром ГШ—1.

Алтайской территориальной опытно-методической геофизической партией МЦМ КазССР получено много примеров успешного решения задач по увязке, оконтуриванию и поискам рудных тел. Так, по данным методов РВП и МЭК существенно изменилось представление о простирании рудных тел 2-го Греховского месторождения. Получены положительные материалы по увязке и оконтуриванию рудных тел в раз-

резах Иртышского, Белоусовского и Ново-Березовского месторождений. Материалы по увязке рудных тел Зырянского месторождения используются при подсчете запасов. На 10-ом горизонте Маслянской промышленной зоны Зырянского месторождения проведенными работами показана бесперспективность участка между скважинами 2478—2602, что позволило сэкономить 500 пог. м скважин, которые надо было бы пробурить дополнительно для изучения этого участка.

В заключение надо отметить, что для получения еще большего эффекта от применения подземной геофизики при эксплуатации месторождений Рудного Алтая необходимо:

1. Геофизические исследования проводить на всех этапах—от поисков новых рудных тел до эксплуатационной разведки в блоках.

2. При поисках новых рудных тел основными методами являются ДЭМП и гравиразведка. В дальнейшем большее значение приобретают методы МЭК и РВП; последний сначала на низких частотах (512, 2048 кгц), затем, с увеличением детальности, на более высоких частотах (10, 18 мгц).

3. На месторождениях первого типа рекомендуется после разбурки участка скважинами через 60 м провести весь комплекс геофизических работ, а дальнейшее сгущение сети проводить только с учетом геофизических данных.

4. На месторождениях второго типа в разрезах первоначально надо проходить не более 2 скважин. Вопрос о необходимости дальнейшего сгущения разведочной сети должен решаться после проведения комплекса геофизических работ.

5. Необходимо в срочном порядке решить вопрос о проведении замеров искривления горизонтальных и восстающих скважин. В противном случае геофизические и геологические данные не будут соответствовать действительности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сапожников В. М., Сысков С. С., Ивин В. Н. Приставка к аппаратуре АНЧ—1 для определения полярности измеряемого сигнала.—«Разведочная геофизика», вып. 30, М., «Недра», 1968.

А. С. ГИРЕВ, А. Л. КОРНИЛОВ

(Среднеазиатская геологоразведочная экспедиция Главгеологии  
Минцветмета СССР)

## ПОДЗЕМНАЯ ГЕОФИЗИКА НА ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ СЕВЕРНОГО ТАДЖИКИСТАНА

На этапе детальной и эксплуатационной разведки на полиметаллических месторождениях Средней Азии наибольшее применение нашли методы вызванной поляризации, электрической корреляции, радиоволнового просвечивания [1—3].

Этот комплекс применяется с целью поисков рудных тел в около- и межскважинном (межвыработочном) пространстве, уточнения их конфигурации и размеров, увязки рудных подсечений в плане и разрезе.

К осложняющим факторам при работе в подземных выработках относятся: высокая влажность, повышенные переходные сопротивления заземлений (до 30 К $\Omega$ ), помехи от энергетических установок (до 3 мв при  $MN=10$  м) наличие металлических проводников.

Для устранения влияния рельсов в большинстве случаев оказывается достаточным удаление от них питающих электродов на 3—5 м, а приемных—на 1 м. Кстати отметим, что рельсы увеличивают фоновые значения поляризуемости до 4—6%.

Влияние влажности удается уменьшить, используя эбонитовые держатели для приемных электродов и подвешивая питающие и приемные линии.

Уменьшение переходных сопротивлений в приемной линии достигается путем обмотки скважинных и шахтных меднокупоросных электродов мокрым войлоком; в питающей—путем создания большей контактирующей поверхности медного канатика с горной породой или рудным подсечением.

Методы ВП и электрокорреляции выполнялись с прибором ЭСК—1 и приставкой для метода ВП. Источник постоянного тока состоял из трансформатора и выпрямителя, питающихся от промышленной сети напряжением 127, 220 и 380 в. Мощность источника 3 квт.

Метод РВП применялся с аппаратурой АЭММ—3с.

Опишем некоторые из полученных результатов.

*Месторождение 1.* Участок сложен известняками, интрузивными породами (гранодиориты, гранодиорит-порфиры), диабазовыми и диоритовыми порфиритами и скарнами. Важную роль в локализации оруденений играет серия тектонических нарушений. Полиметаллические рудные тела фиксируются чаще всего в скарнах в виде линз и столбов. Основные минералы рудных тел: галенит, сфалерит, пирит, кварц, пироксен. Физические свойства горных пород месторождения измерялись в естественном залегании параметрической установкой по скважинам и горным выработкам на различных горизонтах. Результаты измерений сведены в таблицу.

Как видно из таблицы, электрическое сопротивление и поляризуемость пород и руд достаточно контрастны для успешного проведения

работ. Коэффициенты поглощения электромагнитной энергии во вмещающих породах 0,04—0,1, в руде—0,12—0,30 Н/м.

На стадии детальной разведки геофизические исследования проводились с целью прослеживания рудных тел, вскрытых штольней 104, увязки их между собой и поисков новых рудных тел.

Породы	Электрическое сопротивление, ом			Поляризуемость, $\eta_h$ %			Кол-во замеров
	пределы		среднее арифм.	пределы		среднее арифм.	
	от	до		о	до		
Известняки	117	3900	1000	0,56	13,48	1,96	392
Синиты	44	3470	927	0,52	9,8	3,43	86
Синит-порфиры	286	1527	808	0,74	4,97	2,92	10
Скарны	205	518	368	1,4	22,4	7,66	27
Минерализованная сульфидная зона со свинцом	1,8	190	49,8	14,8	22,8	20,74	17

По результатам метода заряда от заземления, выполненного в рассечке 2 штр. 2, устанавливается широкое простирание проводящих нарушений 1, 2, 3 (см. рис. 1). Через нарушения 1 и 2 точка заряда 1 увязывается с пикетом 85 по штреку 7.

Более вероятно, что связь осуществляется по нарушению 2, так как по линии, соединяющей пикеты 35 м в скв. 014 и 96 м в штреке 7, методом РВП отмечается разрыв сплошности рудных тел (отсутствие экранирующих объектов).

Нарушение 3 устанавливается косвенным образом по отклонению максимума потенциала на забой скв. 042 при заряде, расположенном в скв. 014 на глубине 72 м (заз. 2). Методом ВП подтверждаются данные МЗ. Так, по измерениям градиент-установки в призабойных частях скважины 042 отмечается аномалия  $\eta_h$  до 8%. Поляризуемость стенок скважины, замеренная микроустановкой в призабойной части, низка, следовательно, скважиной возмущающий объект не подсечен.

Скважина 055, пробуренная впоследствии, и рассечка 5 подтвердили наличие зоны оруденения в районе нарушения 3.

Результаты методов РВП и ВП подтвердили данные метода заряда, но при интерпретации результатов радиопросвечивания между скважинами 014 и 041 способом обобщенной плоскости был сделан вывод о разрыве сплошности рудного тела, контролируемого нарушением 1.

Скважина 044, пробуренная впоследствии, рудное тело в этом районе не подсекла.

Таким образом, геофизические исследования позволили существенно уточнить геологическую ситуацию на горизонте шт. 104, оконтурить и проследить рудные тела.

*Месторождение 2.* Рудное поле представляет собой широко вытянутую полосу известняков верхнедевонского—нижнекаменноугольного возраста. Известняки залегают довольно круто. Постепенно выходясь, на севере они перекрываются верхнепалеозойскими эффузивами. Вдоль южного контакта известняков с прорывающими их гранодиоритами и диоритами средне- и верхнекаменноугольного возраста широко проявлено скарнообразование с наложенной свинцово-цинковой минерализацией. Известны также рудные тела, находящиеся внутри полосы известняков и контролируемые тектоническими нарушениями.

В плане рудные тела имеют обычно линзовидную форму и протя-

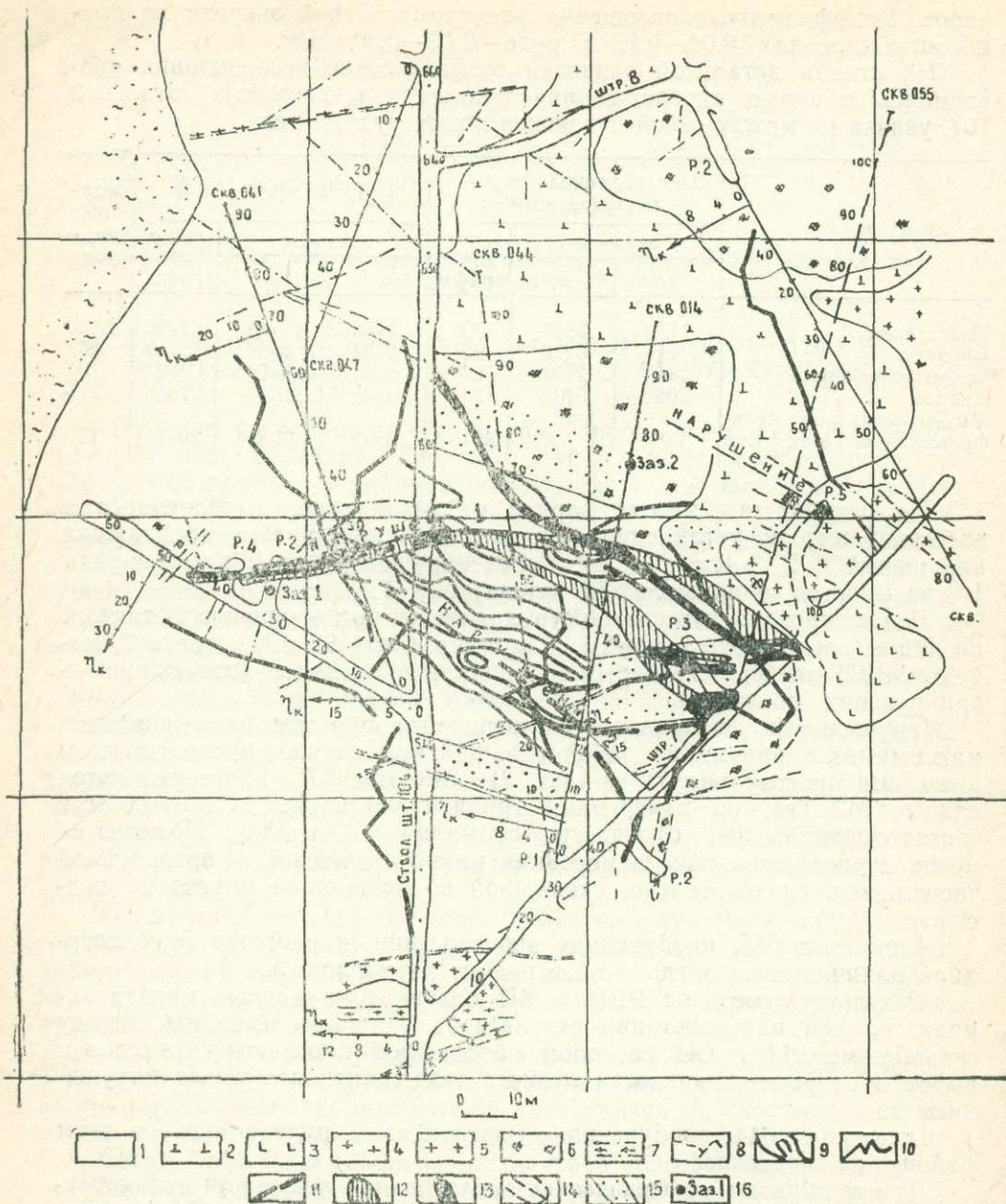


Рис. 1. Результаты геофизических исследований методами ВП, РВП, заряда в штольне 104.

1—известняки; 2—снениты; 3—гранит-порфиры; 4—граносиенит-порфиры; 5—гранодиорит-порфиры; 6—скарны; 7—тектонические нарушения и зоны дробления; 8—скважины и выработки; 9—изолинии коэффициентов поглощения; 10—графики  $\gamma_{th} \%$  по установке срединных градиентов ВП; 11—оси проводимости; 12—рудные тела до постановки геофизических работ; 13—рудные тела, уточненные по результатам геофизических и горнопроходческих работ; 14—положение предполагаемой рудной зоны по данным методов ВП и заряда; 15—теневые сектора, выделенные по лучам максимальных значений коэффициентов поглощения; 16—точки заряда.

гиваются на глубину в виде столбов. Мощность рудных тел составляет первые метры (до 10 м). Размеры по простиранию—первые десятки метров. Основными рудными минералами являются галенит, сфалерит и пирит.

Электрическое сопротивление вмещающих пород—1000 ом и выше, руд—от 10 до 500 ом. Поляризуемость, соответственно, 2—3 и 5—20%. Поглощение электромагнитной энергии безрудными породами составляет 0,10—0,12, рудами—0,13—0,19 Н/м.

Геофизические исследования на участке проводились на стадии детальной разведки и имели своей целью прослеживание рудных тел, вскрытых штольней, их увязку и поиски новых тел.

Первый этап геофизических работ выполнен в тот период, когда штольней было пересечено рудное тело в районе отметки 220—240 м от устья. На этом этапе выполнены детальные исследования (50×10 м) на дневной поверхности методами ВП (срединный градиент), заряда (съемка потенциала от заземления на краю рудного тела на пикете 220 шт. 11) и заряда ВП (измерения градиента по профилю, проходящему над штольней. Выполнены также наблюдения методом ВП по стволу штольни установкой срединного градиента и микроустановкой. По результатам метода ВП на поверхности выявлена обширная зона поляризуемости, подтвердившая лишней раз перспективность участка в целом.

Однако оконтурить отдельные тела по этим данным не представлялось возможным. Работы по методу заряда не дали четких результатов. Здесь изолинии потенциала электрического поля имели весьма сложную форму, во многом объясняющуюся резко расчлененным рельефом. Однако в целом наблюдалось некоторое смещение центра изолинии потенциала на юго-запад, свидетельствующее о восстании рудного тела в этом направлении.

Интересные результаты получены по методу заряда—ВП (рис. 2). Знак аномальной разности потенциалов ВП одинаков со знаком разности потенциалов пропускания. Точки переходов этих графиков через нуль практически совпадают. Такие данные свидетельствуют о том, что заземление сделано в верхней части рудного тела, т. е. что большая часть рудного тела расположена ниже горизонта штольни, а к поверхности она значительного распространения не имеет. Сама же точка перехода графиков через нуль смещена от своей проекции на юго-запад. На графике  $\eta_k$  получена двугорбая аномалия. Большей величины максимум расположен над рудным телом (заземление осуществлено у юго-западного края рудного тела). Характер затухания максимумов не противоречит заключению о северо-восточном падении рудного тела, сделанному по данным метода заряда.

По результатам измерений методом ВП по стволу штольни на этом этапе, а также после продолжения ствола штольни и проходки других выработок установлено, что рудные подсечения на пикете 220—240, 305—330 ствола штольни 11, на пикете 60 штр. 3 отмечаются аномалиями  $\eta_k$  до 20%.

Кроме того, выявлены аномалии поляризуемости в районе пк 180 ствола штольни и пк 20 по штр. 3. Бурение проверочных скважин показало наличие рудных тел ниже гор. шт. 11 между штреками 1 и 3 и правее ствола штольни против отметки 200 м (рис. 3).

В районе рудной минерализации на пк 305—330 выполнены наблюдения методом ВП по разным стенкам штольни. Аномалия поляризуемости по правой стенке более контрастна и интенсивность ее выше, что свидетельствует о нахождении основного рудного тела справа от выработки. Это тело подсечено штреком 4 и скважиной 014, пробуренной из пк 275.

Рудные подсечения методом корреляции между собой увязываются.

По результатам односкважинного РП по скв. 014 в районе рудного подсечения наблюдается аномальное поглощение электромагнитной энергии, что свидетельствует о применимости данной методики для выделения рудных пересечений и поисков рудных тел в околоскважинном пространстве.

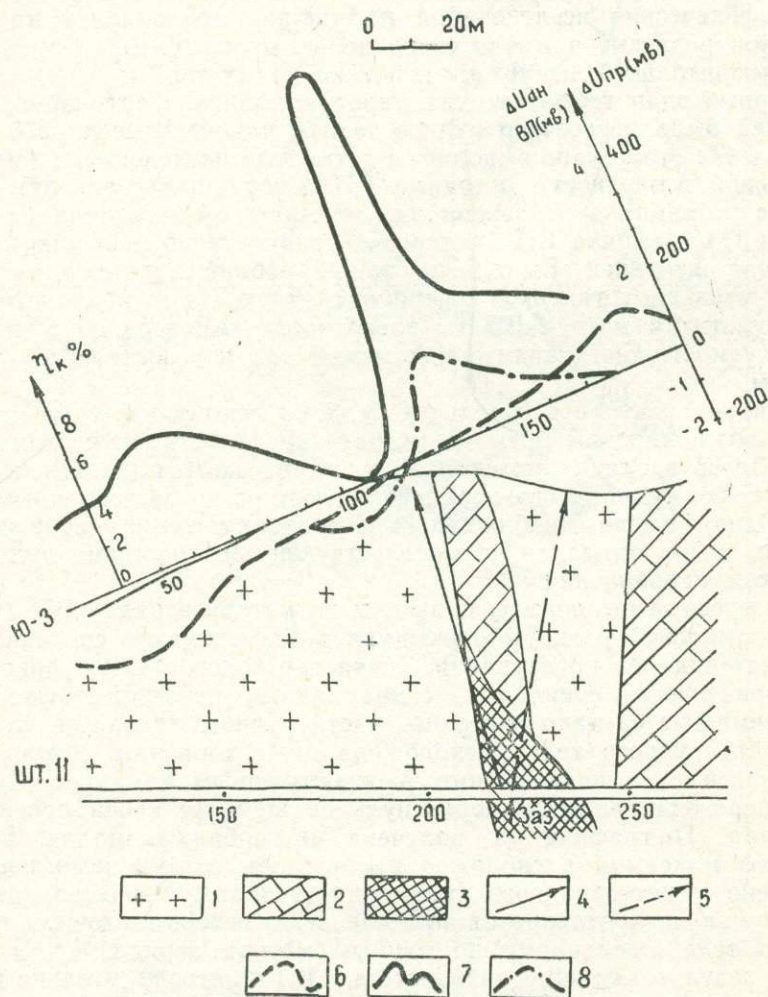


Рис. 2. Разрез по штольне 11 и результаты исследований методом заряда—ВП. 1—гранодиориты; 2—известняки; 3—полиметаллическое рудное тело; 4—корреляционная ось; 5—направление проекции заземления на дневную поверхность; 6—график разности потенциалов пропуска; 7—график кажущейся поляризуемости; 8—график аномальной разности потенциалов ВП.

На рудном теле в районе пк 60 штр. 3 было устроено заземление с целью прослеживания его по горизонту штольни 11. Рудное тело на пк 60 штр. 3 увязывается с рудным телом, подсеченным по скважине 012 (ось проводимости  $A_1$ ), и зоной минерализации по скважинам 012 и 019 (ось проводимости  $A_2$ ). Эти данные подтверждаются результатами радиоволнового межскважинного просвечивания.

Оси проводимости сопровождаются довольно четкими радиотелами между скважинами 04, 012, 019.

Приведенный материал характеризует лишь часть работ, выполненных и продолжающих выполняться на месторождении.

*Месторождение 3.* На площади месторождения развиты верхнепалеозойские эффузивы. Представлены они в основном кварцевыми порфирами, фельзит-порфирами и туфобрекчиями кислого состава с прослоями туфопесчаников. Рудные тела прожилково-вкрапленного типа представлены галенитом, сфалеритом, пиритом, серебром и блеклой рудой.

Свинцово-цинковые рудные тела приурочены к зонам разломов субмеридионального направления, располагающимся в эффузивных образованиях. Форма рудных тел столбообразная, падение крутое.

Дифференциация пород по сопротивлениям практически отсут-

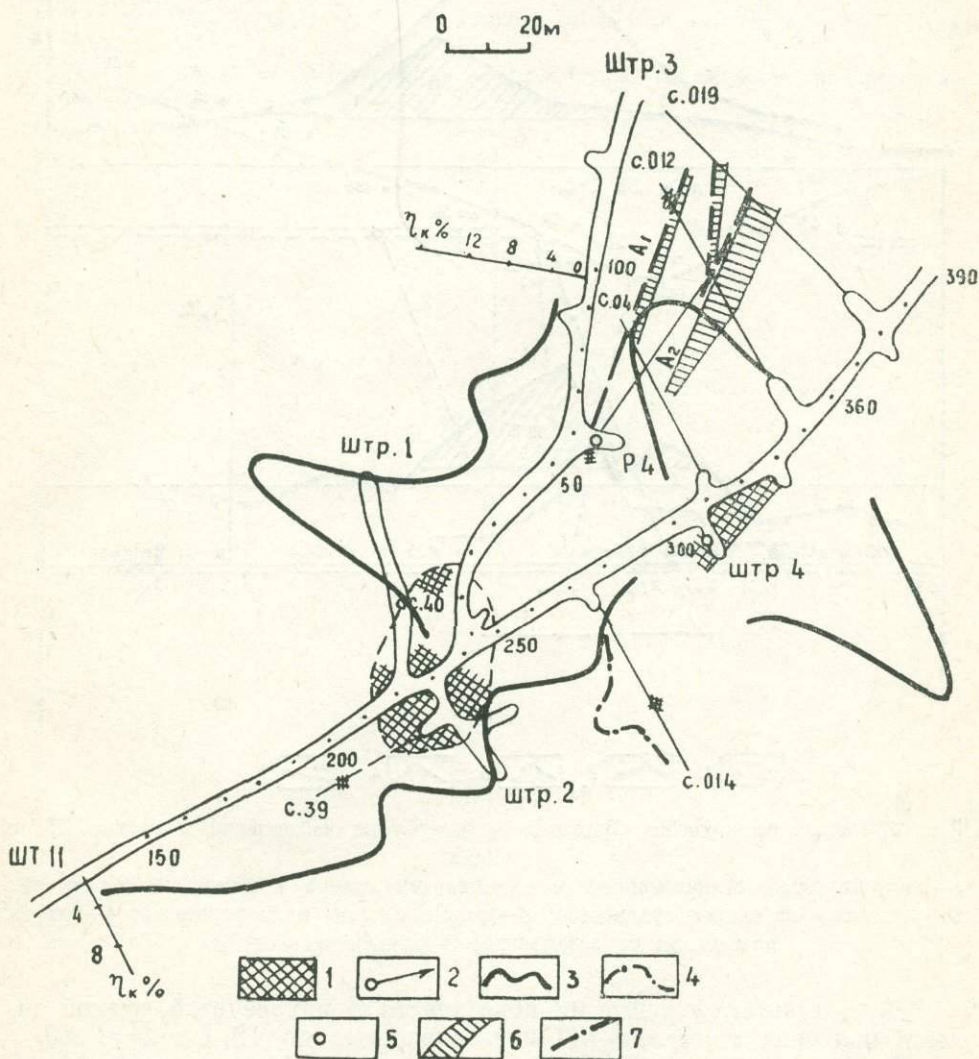


Рис. 3. План горизонта штольни 11 и результаты работ методами заряда, ВП и РВП. 1—рудные подсечения; 2—график односкважинного РВП; 3—точки заряда; 4—радиотеллы по результатам РВП; 5—графики  $\eta_k$  по методу ВП; 6—оси проводимости по методу заряда; 7—корреляционная ось.

стует, только зоны разрывных нарушений характеризуются повышенной проводимостью. Поляризуемость вмещающих пород 1—2, рудных зон 6—10%.

При детальной разведке месторождения на поверхности и по горизонту штольни «Верхняя» получена аномалия ВП—8 (рис. 4), причем площадь аномалии по установке срединных градиентов значительно больше площади аномалии по микроустановке. Этот факт говорит о неподсеченной стволем штольни «Верхняя» основной части рудной зоны. В дальнейшем при бурении скважин 24—27 в околорудной зоне в пространстве подсечена рудная залежь.

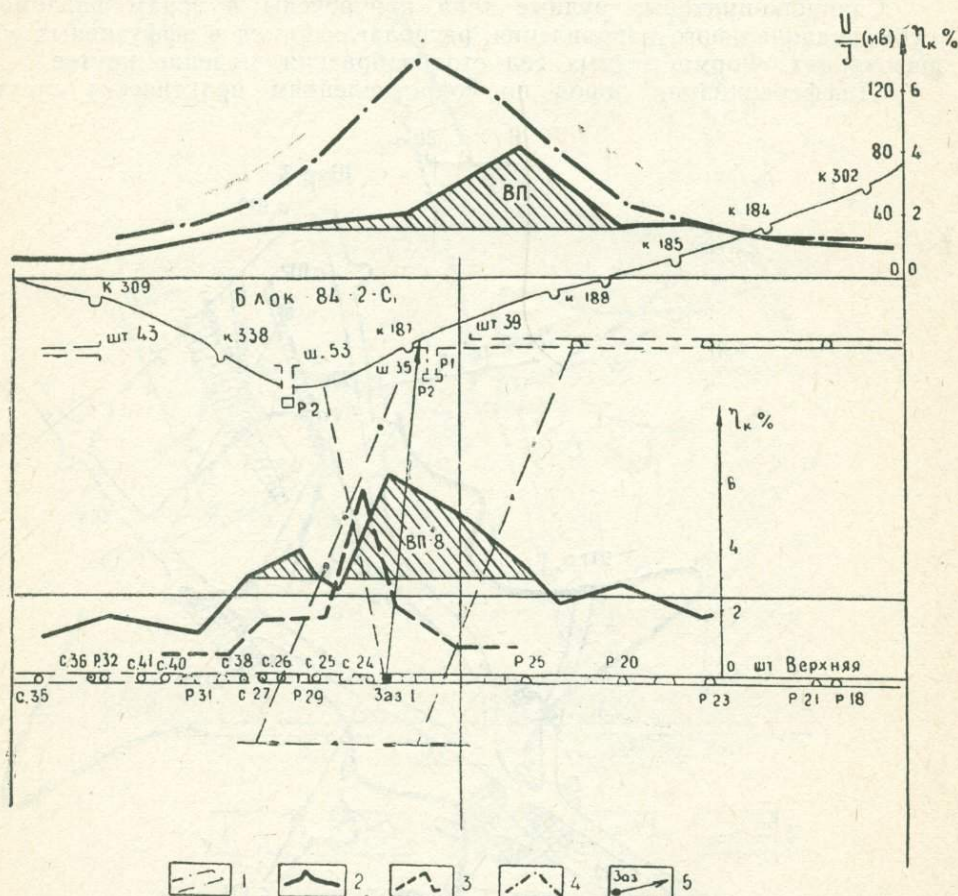


Рис. 4. Разрез по штольне «Верхняя» и результаты наблюдений методами ВП и заряда.

1—контуры блока с промышленным содержанием свинца и цинка; 2—график  $\eta_{к-д}$  по установке срединных градиентов; 3—график  $\eta_{к}$  по микроустановке; 4—график потенциала от заземления; 5—корреляционная ось.

По результатам работ на поверхности в районе этой рудной залежи получена аномалия ВП интенсивностью до 4% ( $\eta_{кфон} = 1\%$ ).

В рудном теле на горизонте шт. «Верхняя» было устроено заземление и проведена увязка этого рудного подсечения с поверхностью. Максимум потенциала смещен относительно проекции заземления на поверхность в район шурфа 35, в котором также подсечена руда. Следовательно, рудная залежь, характеризующаяся аномалией ВП, просле-

живается до поверхности. Эти выводы, сделанные по геофизическим данным, подтверждены разведочным бурением с поверхности и из штольни.

По результатам бурения, горнопроходческих и геофизических работ выделен блок 84—2—С с промышленным содержанием свинца и цинка.

Работы описанным комплексом методов проводятся на целом ряде других полиметаллических месторождений Средней Азии и доказывают высокую эффективность подземных геофизических исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Козырин А. К.* и др. Временное руководство по методу электрической корреляции (МЭК). Свердловск, 1964.
2. *Комаров В. А.* Электроразведка методом вызванной поляризации. Л., «Недра», 1972.
3. *Попов А. А.* и др. Методическое руководство по скважинному радиоволновому просвечиванию. Л., ОНТИ ВИТР, 1965.

А. Н. АВДОНИН, М. Г. КАРЫМОВ, А. Е. МЕДВЕДЕВ, Н. Н. МУЗЮКИНА,  
Н. Л. ШИЛКО

(Уралгеолуправление Мингео РСФСР)

## ОЦЕНКА МАСШТАБОВ МАГНЕТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОМПЛЕКСОМ ПОЛЕВЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Особенностью поисково-разведочных работ на Урале является то, что они как в известных железорудных районах, так и на новых площадях направлены на выявление глубокозалегающих месторождений. За последние тридцать лет глубина опозискования с целью выявления магнетитовых месторождений на Урале увеличилась с первых десятков до 1200 м.

Рентабельность месторождения помимо глубины залегания и ряда географо-экономических факторов определяется, главным образом, запасами и качеством руд. При поисках глубокозалегающих месторождений необходимо ориентироваться на «минимально-промышленное месторождение», имеющее предельные запасы руд, при которых еще экономически выгодно производить отработку объекта на данной глубине залегания при современном уровне технического прогресса.

Ориентировочные запасы минимально-промышленных магнетитовых месторождений даны в табл. 1.

Таблица 1

Глубина месторож- дения, м	Запасы руд (млн. т) при содер- жании железа		
	30 %	40 %	60 %
400	250	150	50
600	300	200	60
800	350	250	80
1000	400	300	100
1400	450	350	140

Анализ теоретических расчетов и имеющихся практических материалов показывает, что геофизические аномалии от указанных в таблице месторождений при увеличении глубины залегания уменьшаются: магнитные от 1600 до 150 гамм, гравиметровые от 1,0 до 0,2 мгл. Следовательно, с помощью магниторазведки могут быть обнаружены рудные объекты на глубинах до 1000—1100 м и гравиразведки—1200—1300 м. Магнетитовые залежи с большими запасами будут отмечаться более интенсивными аномалиями, а следовательно, могут быть выявлены и на больших глубинах.

Однако реальные геолого-геофизические условия осложняют наблюдаемые физические поля аномалиями от перекрывающих пород с

повышенными магнитными свойствами и плотностью, что в значительной мере затрудняет решение проблемы поисков глубокозалегающих магнетитовых месторождений и делает ее далеко не однозначной. Поэтому наиболее острой и актуальной задачей геологоразведочного процесса является увеличение достоверности прогнозов магнетитового оруднения на участках поисковых работ.

Наблюдается постоянное усиление исследований, направленных на разработку новых и совершенствование известных поисковых методов, увеличение однозначности интерпретации материалов, извлечение максимальной информации из комплекса геолого-геофизических данных, усиление роли подземных геофизических измерений на всех этапах поисков и разведки месторождений.

Ниже даются основные положения методики комплексных исследований, принятой на Урале для поисков и разведки магнетитовых месторождений.

В табл. 2 приведены содержания главных этапов поисков и разведки магнетитовых месторождений с указанием последовательности и взаимодействия методов, составляющих комплекс геолого-геофизических и геохимических исследований. Таблица составлена на основе анализа многолетних практических исследований, который позволил определить разрешающую способность каждого метода и исходя из этого установить его место и возможности использования результатов измерений на каждом этапе геологоразведочных работ. Объективность результатов геофизических измерений, получение большей информации о глубинном строении изучаемой площади и, наконец, меньшая стоимость выполнения работ определяют ведущую роль геофизических методов в общем комплексе исследований. Эти методы должны опережать геологические съемочные и поисковые работы. Последние нужно проводить со сгущением наблюдений в местах, по геофизическим данным наиболее интересных и перспективных. Успехи использования геофизики в последние годы настолько значительны, что ее данные начинают управлять процессом поисковых и, особенно, разведочных работ. Именно на этой основе можно решать задачу выявления глубокозалегающих месторождений с максимальной геологической и экономической эффективностью.

Для старых горнопромышленных районов, к которым относится Урал, первый этап региональных исследований почти повсеместно завершен, и пересмотр геофизических материалов или получение новых, например, с повышенной точностью измерений, применительно к выявлению железорудных месторождений, производятся в ограниченном объеме.

На этапе детального геолого-прогнозного изучения площадей задачей геофизических исследований является выделение перспективных участков для поисковых работ по материалам магнитных и гравиметровых съемок масштабов 1:25 000, 1:50 000. Она решается путем выделения и оценки перспективности магнитных аномалий, расположенных внутри железорудных металлогенических зон.

Достоверность и точность интерпретации аномалии определяется надежностью определения регионального фона и помех. Разработан специальный способ годографов векторов  $T_a$ , который обычно дает удовлетворительные результаты. Этот годограф—кривая, которую описывают концы векторов  $T_a$  при наблюдении их вдоль бесконечно длинной линии, проходящей над возмущающим объектом. Он описывает замкнутую кривую, форма которой соответствует возмущающему объекту (рис. 1). Такие годографы являются способом изображения магнитных аномалий, соединяющим в себе особенности распределения

полей  $Z_a$  и  $H_a$ . Их можно использовать при интерпретации и для определения нулевого уровня кривых  $Z_a$  и  $H_a$ . Нулевой уровень кривых определяется исходя из следующих особенностей годографов. Если нуль кривых  $Z_a$ ,  $H_a$  определен верно, то годограф является замкнутой кривой, имеющей общую точку с началом координат, которая и соответствует нормальному полю. Если же нулевой уровень этих кривых изменяется по какому-то закону, то годограф — разомкнутая кривая, ветви которой выходят на асимптоты. Линия, соединяющая асимптоты, является геометрическим местом точек нулевого уровня кривых  $Z_a$  и  $H_a$ , по которой он и определяется.

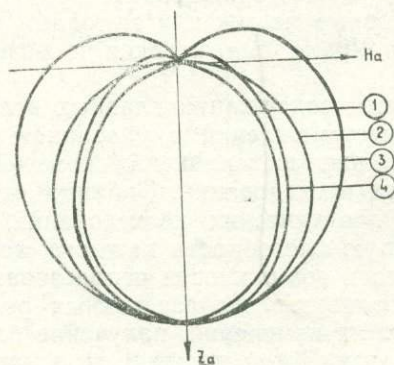


Рис. 1. Годографы векторов  $T_a$ .  
1—точечного источника; 2—пласта; 3—кругового цилиндра; 4—шара.

На рис. 2 представлена кривая  $Z$  по профилю через Мраморскую аномалию.

Нормальное поле при производстве съемок  $Z$  было выбрано неверно. По кривой  $Z$  рассчитана кривая  $H$ , построены векторы и годограф  $T$ . Кривая, представляющая годограф  $T$ , разомкнута, и конечные ветви ее выходят на асимптоты, которые являются графиками нормального поля. Значения векторов  $T_a$  отсчитываются от линии, соединяющей асимптоты, определяются нулевые линии кривых  $Z$  и  $H$  и строится новый годограф. Полученный новый годограф по форме соответствует кардионде, которая определяется возмущающим объектом в виде кругового цилиндра. Угол наклона оси годографа соответствует намагничиванию возмущающего объекта.

Последующая интерпретация кривых  $Z_a$ , векторов  $T_a$  выполняется с использованием обычных аналитических или новых методов.

Из последних в практике работ нашли применение методы: биполярных координат (В. Н. Страхов, Е. П. Пучков), особых точек (Г. М. Воскобойников, Н. И. Начапкин), пересчетов магнитных полей в псевдогравитационные (И. Д. Савинский).

Результаты интерпретации, как правило, сводятся к определению элементов и глубины залегания возмущающих объектов и размеров возможных рудных залежей. Интерпретация перспективных магнитных аномалий дополняется интерпретацией гравиметровых и повысотных магнитных измерений. Данные повысотных магнитных измерений иногда позволяют определить природу аномалии по их затуханию и в большинстве случаев уточнить форму объекта. Если магнитная аномалия сопровождается гравитационной, то неоднозначность решения

обратной задачи значительно сужается. В завершение процесса интерпретации производится классификация аномалий по комплексу геофизических и геологических параметров (программы «Кора—3», «Потенциал»).

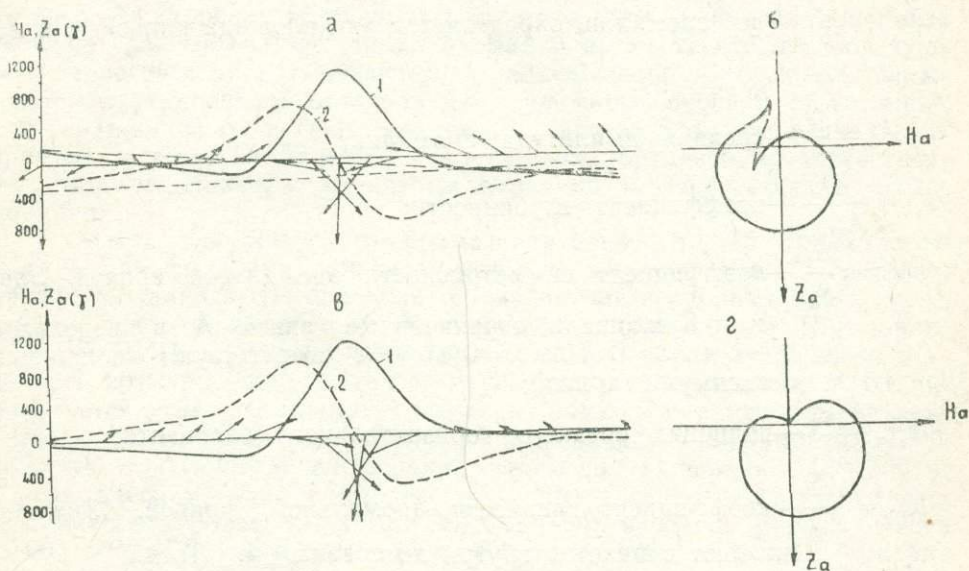


Рис. 2. Мраморская аномалия;

а—кривые  $Z, H$ , векторы  $T$  с фоном от региональной аномалии; б—годограф  $T$  с региональным фоном; в—выделенные из регионально о фона кривые  $Z_a, H_a$ ; г—годограф векторов  $T_a$ . 1—уровень нормального поля для кривой  $Z_a$ ; 2—то же для кривой  $H_a$

Под параметрами следует понимать некоторые особенности локальной аномалии или внешних, окружающих эту аномалию полей, несущие определенный объем информации о природе возмущающего объекта или о вмещающей его среде.

Для определения региональных параметров используются магнитные и гравиметровые карты масштаба 1:50 000 и мельче.

В магнитных полях геолого-структурные элементы проявляются, в основном, двумя особенностями: площадной структурой (морфологией) магнитного поля и изменением уровня нормального поля. Для характеристики структуры поля выделяются стандартные типы полей в изучаемом регионе (тип А, тип В и т. д.) и различные варианты изменений уровней нормального поля ( $AO=0$ ;  $AO=AO$ ;  $AO_1 < AO < AO_2$ ),

Региональные гравиметровые параметры определяются для центральной части изучаемой локальной аномалии: знак и величина  $\Delta g$ , величина и азимут градиента силы тяжести.

Этими параметрами описывается структура регионального гравиметрового поля. Так, знак и величина силы тяжести показывают приуроченность локальной аномалии к положительной или отрицательной геологической структуре, величина градиента характеризует принадлежность к осевой части структуры или ее крыльям, азимут направления градиента связан с элементами залегания структуры.

Локальные параметры аномалий снимаются с карт физических полей масштабов 1:25 000.

Для магнитных (аэромагнитных) и гравиметровых аномалий определяются следующие параметры:

$2l$  — ширина аномалий между точками кривой, где значения поля  $A_i = \frac{1}{2} A_{\max}$ ;

$A_{\max}$  — максимальная интенсивность аномалии (в эпицентре);

$Q = \int_{-l}^l A_i dl$  — вес аномалии, определяется как площадь кривой  $A$  в пределах  $\pm l$ ;

$A_{\phi} = \frac{Q}{2l}$  — средняя амплитуда аномалии;

$K_n = \frac{Q}{A_{\max}}$  — коэффициент глубинности;

$K_c = \frac{S_1}{S_2}$  — коэффициент симметричности аномальной кривой. Здесь  $S_1$  и  $S_2$  площади, ограниченные кривой  $A$  в пределах от  $-l$  до  $x=0$  и от  $x=0$  до  $+l$ , соответствуют положению максимума кривой;

г.г.  $\frac{A_{\max}}{2l}$  — величина среднего горизонтального градиента;

$K_{гл.} = \frac{\sqrt{\delta^2}}{A_{\text{ср}}}$  — коэффициент гладкости аномальной кривой. Значения снимают с пикетов внутри интервала  $\pm l$ . Тогда

$$\delta^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (A_i - A_{\text{ср}})^2;$$

$\frac{l_{075}}{l_{05}}$  — безразмерный параметр. Здесь:  $l_{075}$  — ордината точки  $A_i =$

$$= 0,75 A_{\max} \quad \text{и} \quad l_{05} \text{ — то же для } A_i = \frac{1}{2} A_{\max}.$$

Геологические параметры снимаются с карт масштаба 1:50 000; они составляют набор признаков, предполагающих или отрицающих наличие магнетитового оруденения на глубине:

1. Положение аномалии относительно интрузивов: а) на контакте; б) в удалении от контакта; в) внутри интрузива.

2. Литология площади аномалии: а) карбонатная; б) туфогенная; в) эффузивная.

3. Мощность «слоистой» толщи: а) более 100 м; б) менее 100 м.

4. Наличие региональных, глубинных разломов в окрестностях аномалии, площадью до 50 км<sup>2</sup>.

5. Наличие тектонических явлений в пределах площади аномалии.

6. Наличие процессов метасоматоза.

Этим набором параметров характеризуются эталонные магнитные аномалии от рудных и безрудных объектов и на этом материале производится обучение ЭВМ распознаванию аномалий. Распознавание известных объектов по совокупности приведенных параметров произведено с эффективностью до 89%.

По результатам распознавания данных интерпретации и общей оценки геологической и геофизической ситуации аномалии делятся на классы: явно рудные; с неизвестной природой, ближе к рудным; с неизвестной природой, ближе к безрудным; явно безрудные.

На аномалиях первых двух классов ставятся последующие детальные поисковые работы.

Геофизический комплекс при детализации аномалий следующий: магнитная съемка масштаба 1:50 000—1:25 000, гравиметровая съемка масштаба 1:10 000—1:25 000, ВЭЗ по интерпретационным профилям, способы искусственного подмагничивания и измерения вариаций геомагнитного поля. Помимо установления общих закономерностей геологического строения исследуемых участков, детализированные работы уточняют размеры и морфологию аномалий на местности для последующих геологических и геофизических исследований, которые сопровождаются определенным объемом картировочного бурения с постановкой скважины геофизики. Важное значение на этом этапе придается прямым методам выявления магнетитового оруденения: искусственного подмагничивания, магнитных вариаций и геохимическим исследованиям.

Метод искусственного подмагничивания (МИП) применяется в двух модификациях: профилирование и зондирование. С помощью профилирования МИП определяется магнитная восприимчивость пород верхней части разреза до глубин первых десятков метров. При зондировании МИП определяется глубина залегания и магнитная восприимчивость возмущающего объекта. Глубинность зондирования МИП определяется размером подмагничивающей рамки. В практике работ наиболее четко применяется сочетание подмагничивающих рамок 200×200, 400×400 и 600×600 м, глубинность в этом случае порядка 250—300 м. Статистическим путем выяснено, что при значениях магнитной восприимчивости более  $40\,000 \cdot 10^{-6}$  СГС объект вероятно рудный, менее  $20\,000 \cdot 10^{-6}$  СГС —нерудный, при промежуточных значениях природа его остается неопределенной. Эти характеристики получены на известных объектах сравнительно больших размеров. При ограниченных по размеру аномалиях и, соответственно, возмущающих объектах задача определения природы аномалии решается неоднозначно. Возможности метода МИП иллюстрируются применением его на магнитной аномалии, обусловленной одной из залежей месторождения 3-е Северное (рис. 3). Магнитные зондирования были выполнены в трех точках над пологозалегающим рудным телом. Результаты определения в этих точках глубины до магнетитовой залежи и магнитной восприимчивости мало отличаются от истинных. Измерения показывают, что зондирование МИП вдоль профиля позволяет определить угол падения и область размещения магнитных масс даже за пределами наземной магнитной аномалии (точка 3).

Информацию о природе магнитной аномалии можно получить из измерений вариаций геомагнитного поля Земли.

Двумя станциями, одна из которых располагается в нормальном, вторая в аномальном поле, измеряются три составляющие поля  $X$ ,  $Y$  и  $Z$ . Для анализа выбираются вариации, имеющие период от десятков минут до нескольких часов. В результате расчетов находят коэффициент Кенигсбергера. Предполагается, что при значениях коэффициента до 2 единиц аномалия вероятно рудная, более 5 единиц —нерудная, при промежуточных значениях коэффициента природа аномалии остается неопределенной. Глубинность метода вариаций, по существу, неограничена. Применяемая аппаратура позволяет получить удовлетворительные материалы на аномалиях, интенсивностью свыше 1000 гамм; более уверенные результаты можно получить на аномалиях интенсивностью 3000 гамм и выше. Метод вариаций дает также возможность определения глубин залегания возмущающих индуктивно намагниченных объектов. Например, при постановке метода вариаций на Глубоченской аномалии было определено, что аномалия вызывается

индуктивно намагниченным объектом (предположительно рудной природы  $Q = 0,28$ ), залегающим на глубине порядка 1000 м, а не рудными телами, выявленными на глубине 400—600 м. Результаты последующего бурения подтвердили этот вывод.

Важное значение на этапе поисков приобретают геохимические исследования. Специфические геохимические ореолы, образуемые магнетитовыми месторождениями, распространяются вокруг рудных тел на значительные расстояния (от сотни в благоприятных структурных условиях до тысячи и более метров).

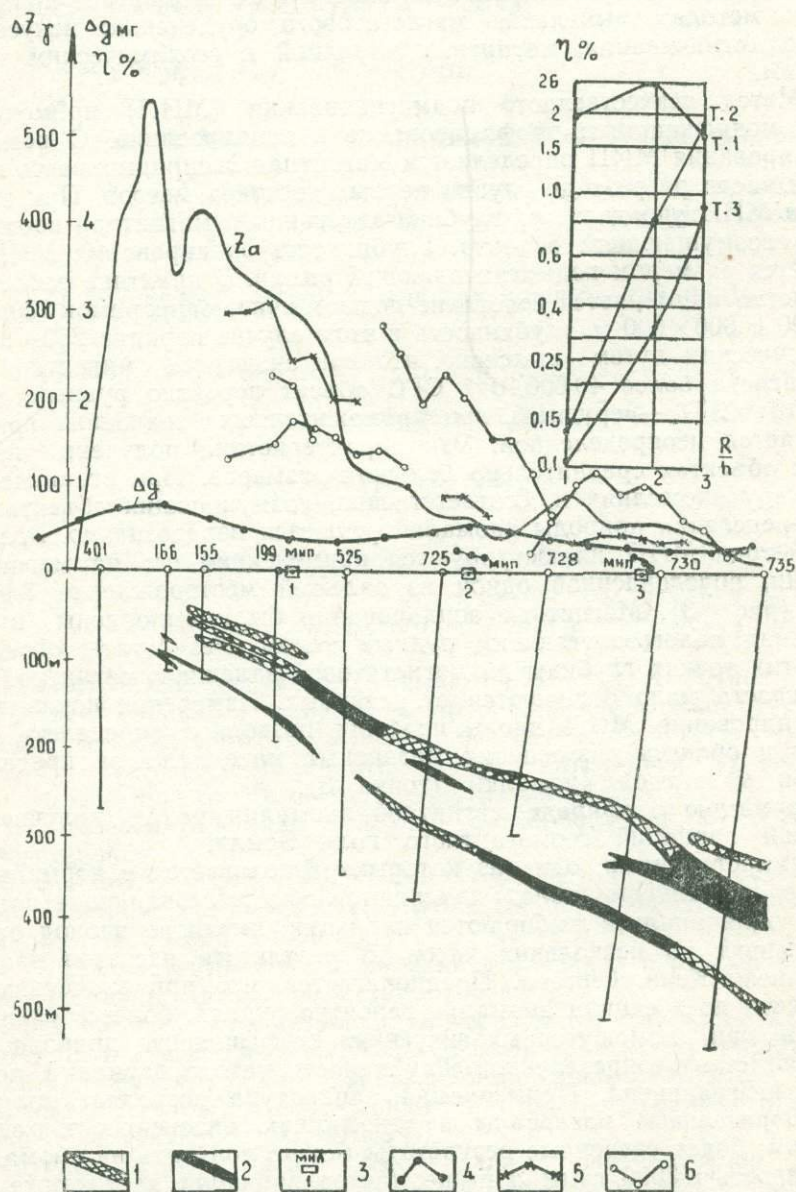


Рис. 3. Результаты МИП над магнетитовой залежью 3-го Северного месторождения. 1—магнетитовые вкрапленные руды; 2—магнетитовые массивные руды; 3—местоположение точек зондирования; 4—аномальный эффект при наблюдении с рамкой  $200 \times 200$  м; 5—то же с рамкой  $400 \times 400$  м; 6—то же с рамкой  $600 \times 600$  м.

Магнитные горные породы, создающие аномалии, имеют иную геохимическую характеристику, и это служит критерием при определении природы магнитных аномалий.

Мультипликационные коэффициенты, вычисленные по средним содержаниям элементов *Ti*, *Sr*, *Mn*, *Ni*, *Ca*, *Ba*, *Cr* для Светлоозерского магнетитового месторождения и четырех безрудных аномалий, различаются в 400 раз.

Детальные геолого-геофизические и геохимические исследования в районе перспективных магнитных аномалий позволяют, в большинстве случаев, определить природу аномалии, на основе интерпретации данных определить прогнозные запасы оруденения и правильно определить места заложения поисково-разведочных скважин. При обследовании последних главную роль играет скважинная магниторазведка.

На стадии предварительной разведки скважинные геофизические методы позволяют решать большое число геологических задач: выявление рудных подсечений в скважинах, установление их строения, выделение сортов руд и определение содержания в них железа. Важными задачами, решаемыми скважинной геофизикой, являются: установление структуры рудного поля, морфологии отдельных рудных тел и выявление рудных залежей в околоскважинном пространстве. Изучение строения месторождения начинается с первой рудной скважины и уточняется по мере проходки последующих. Построение рудных контуров производится путем интерпретации геофизических материалов по аналитическим формулам или методом подбора. В последнее время в практику внедряется математическое моделирование с использованием ЭВМ. Основными достоинствами последнего является высокая точность расчета физических полей и возможность учета трехмерности объекта. Этим методом была построена модель Глубоченского месторождения (северный эпицентр угловой аномалии). При проверке этого эпицентра поисковыми скважинами выявлено магнетитовое оруденение на глубинах 400—600 м, которым распределение магнитных полей по скважинам и на поверхности не объяснялось. Это указывало на наличие глубинного магнитного объекта, что подтверждали и результаты магнитовариационного метода. По геологическим представлениям структура месторождения рассматривалась как сложная разветвленная система тел с преобладающим западным падением.

С помощью программы «ПРЭФ—2» произведено уточнение модели этого месторождения по всем разведочным профилям с учетом распределения наземного и скважинных магнитных полей. Подобранный контур общей рудоносной зоны имеет крутое восточное падение, значительные площадные размеры и большие запасы магнетитовых руд.

На этапе предварительной разведки скважинная магниторазведка дополняется методами РВП и МЭК для более четкого определения контуров рудных тел в межскважинном пространстве и корреляции рудных подсечений в различных скважинах. Этот комплекс позволяет по редкой сети разведочных скважин установить общие закономерности морфологии рудных тел, что имеет важное значение для целеустремленного продолжения разведки месторождения.

Так, контуры Светлоозерского месторождения, залегающего на глубине 600—1000 м с прогнозными запасами 160 млн. т, установлены по результатам скважинной магниторазведки и радиоволнового просвечивания, поставленных в пяти разведочных скважинах.

Одной из важных задач геолого-геофизических исследований является обеспечение прироста запасов в районах действующих или проектируемых горнорудных предприятий за счет выявления и разведки новых рудных залежей на флангах или в глубоких горизонтах месторождений и рудных полей.

Оперативность и эффективность решения данной задачи во многом определяются рациональным сочетанием буровых работ и скважинных геофизических исследований, систематическим уточнением характера и направления геолого-геофизических работ на изучаемом объекте на основе тщательного анализа и истолкования имеющихся данных на всех этапах изучения объекта.

Рассматриваемые работы в сравнении с работами на новых площадях и объектах имеют ряд специфических особенностей, осложняющих решение поставленных задач. В силу того, что поиски новых рудных залежей осуществляются на глубинах от нескольких сот до тысячи и более метров, как правило, не представляется возможным использование наземного магнитного поля для оценки размеров элементов залегания, положения в пространстве и других параметров изучаемой залежи.

Положение еще более осложняется в случаях повышенных магнитных свойств, вмещающих рудные залежи пород, что требует применения специальных мер для выделения полезных аномальных эффектов на фоне геологических помех и их последующего истолкования. В этих условиях основная информация о перспективности изучаемого участка или горизонта и масштаба прогнозируемого оруденения получается, главным образом, в процессе скважинных геофизических исследований, а достоверность оценки параметров объектов в значительной мере зависит от полноты и эффективности комплекса исследований и приемов истолкования полученных данных.

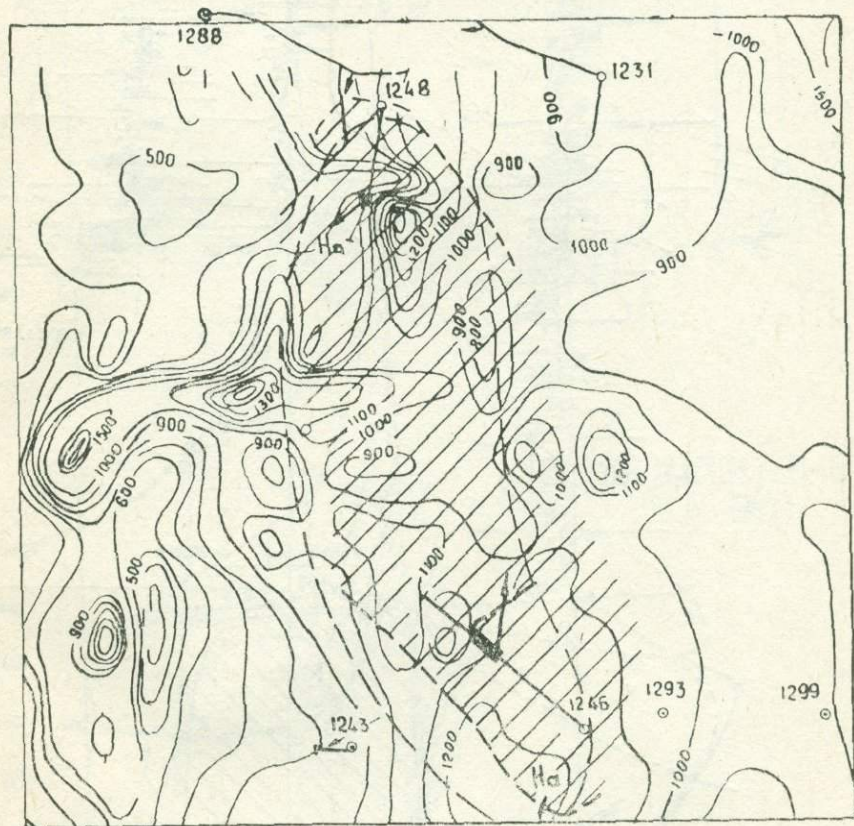
В течение ряда лет в основных железорудных районах и зонах Урала успешно ведутся работы по опоскованию фланговых участков известных месторождений и оценке перспективности их глубоких горизонтов. В итоге этих работ выявлен ряд новых рудных залежей, что существенно увеличило запасы известных месторождений, а в ряде случаев создало дополнительные базы для развития действующих горнорудных предприятий. Ниже рассматриваются примеры работ на двух объектах Северного и Среднего Урала.

*Песчанско-Воронцовское рудное поле.* После завершения разведочных работ на известных Северо- и Ново-Песчанском скарново-магнетитовых месторождениях были продолжены геолого-геофизические исследования южной части западной приконтактной зоны Ауэрбаховского интрузивного массива с эффузивно-осадочными образованиями. Поиски осуществлялись путем бурения скважин по редкой сети с параллельным изучением околоскважинного и призабойного пространства скважинными магнитометрическими исследованиями. Выбор сети бурения и мест расположения скважин осуществляется с учетом геолого-геофизических данных и возможности поисков из скважин неподсеченных рудных тел с запасами в несколько миллионов тонн на расстояниях от скважин до 100 м.

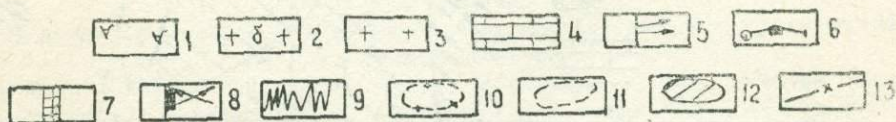
В итоге работ за короткий период времени были выявлены Южно-Воронцовская и Южная рудные залежи, причем запасы последней превышают 10 млн. т. В обоих случаях по безрудным поисковым скважинам были зафиксированы аномалии магнитного поля, характер, распределение и интенсивность которых отвечали случаю наличия в околоскважинном пространстве рудных тел. Трехкомпонентными магнитными измерениями оценены направления на эти объекты и расстояния до них. По скважине 1243 (рис. 4) зафиксирована в интервале глубин 400—582 м «боковая» аномалия магнитного поля интенсивностью до 700 гамм, а на интервале 200—400 м наблюдается плавное увеличение магнитного поля. Это указывает на наличие в околоскважинном пространстве рудного тела. Трехкомпонентными магнитными

измерениями было установлено, что объект расположен к востоку от ствола скважины на расстоянии 70 м. Существенные трудности возникли при оценке размеров объекта. Верхние горизонты разреза на участке осложнены эффузивными породами, обладающими повышенными магнитными свойствами ( $\times$  до  $3000 \cdot 10^{-6}$  СГС). Наземное магнитное поле в районе устья скважины имеет сложный характер, в значительной мере обусловленный влиянием этих пород, что исключало его использование для интерпретации. Оценка размеров объекта была осуществлена в предположении его двухмерной формы с использованием палетки Д. С. Микова. Впоследствии проверочной скважиной 1246, заданной в 100 м к востоку от скв. 1243, были подсечены магнетитовые руды в интервале 410—520 м. Таким образом, в данном случае рациональное сочетание поискового бурения и скважинной магнитометрии обеспечило выявление при минимальных затратах времени и средств новой рудной залежи. По данным магнитометрии достаточно надежно были

А



м 40 20 0 20 40 60 м



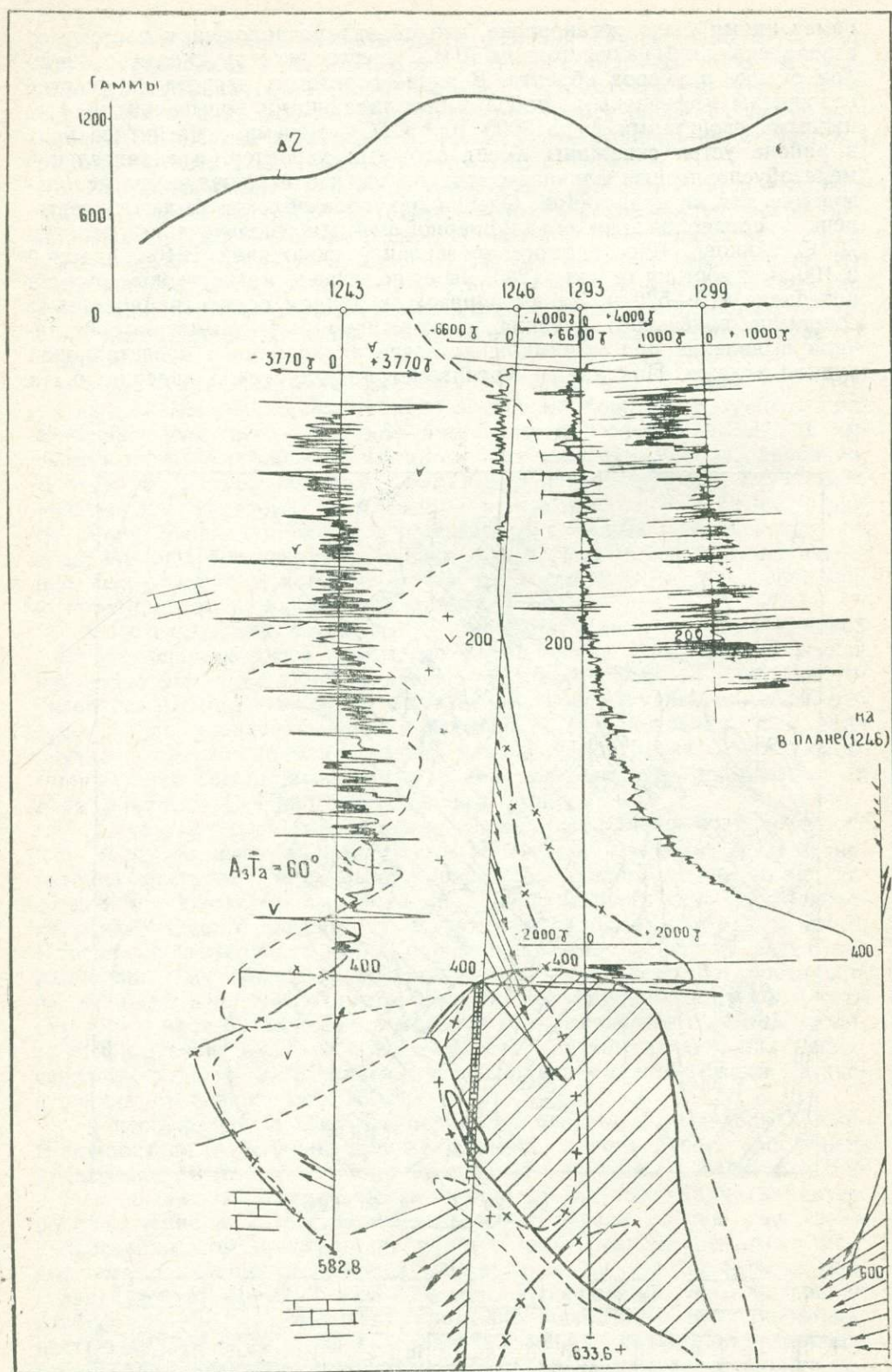


Рис. 4. Южная магнетитовая залежь Песчанского месторождения. А—план изодинам и проекция залежи на земную поверхность; Б—геологический разрез. 1—порфириты; 2, 3—диориты; 4—известняки; 5—векторы  $T_a$ ; 6—горизонтальные проекции скважин; 7—рудные интервалы; 8—входящие и выходящие (пунктир) векторы  $H_a$ ; 9—кривые  $Z$ ; 10—первоначальный контур рудного тела по данным геофизики; 11—контур рудного тела по геофизическим данным; 12—контур рудного тела по геологическим данным; 13—значения магнитного поля, подобранные по палетке Д. С. Микова

определены направление на объект и расстояние до него. Вместе с тем, размеры объекта, определенные по материалам магнитометрии в скважине 1243, оказались в 1,5—2 раза меньше фактических, что объясняется погрешностями при определении формы тела и намагниченности объекта.

*Северо-Гороблагодатский участок.* Поисковой скважиной 943 в интервале глубин 843,77—891 м были вскрыты магнетитовые руды (рис. 5). Магнитное поле в скважине существенно осложнено влиянием вмещающих магнитных пород, которое нужно было исключить для выделения эффекта от рудного тела. Близкое к горизонтальному залегание рудного тела и его пластообразная форма обуславливают резкое затухание интенсивности аномального магнитного поля с удалением от кровли объекта, что ограничивает в данных условиях поисковые возможности скважинной магнитометрии расстояниями в несколько десятков метров.

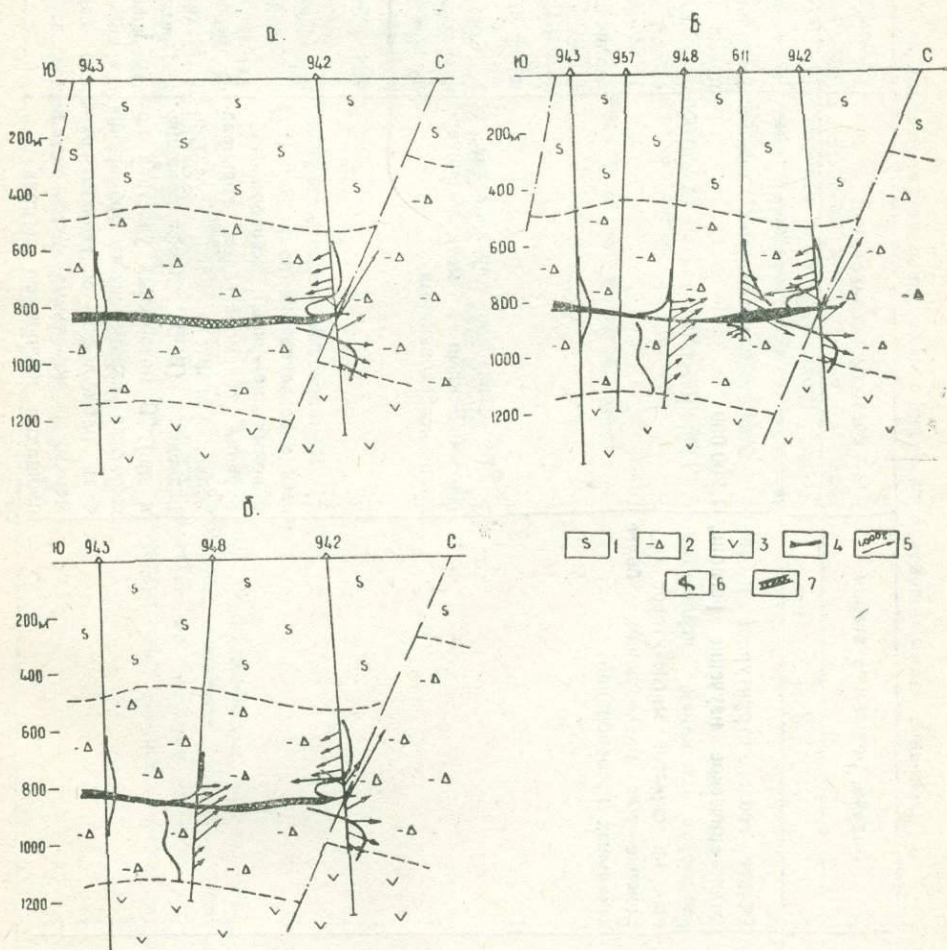


Рис. 5. Результаты геофизических исследований в скважинах Северо-Гороблагодатского участка.

а, б, в—представления о глубинной рудной залежи на различных этапах поисково-разведочных работ.

1—пироксен-скаполитизированные породы; 2—Гороблагодатская слоистая толща; 3—порфириты; 4—рудное тело; 5—векторы  $T_a$ ; 6—кривые  $Z_a$ ; 7—предполагаемый контур рудного тела по данным скважинной магниторазведки

Основные этапы поисков и разведки магнетитовых месторождений на Урале

Этапы	Задачи, решаемые этапом	Методы исследований	Обработка данных наблюдений и конечный результат
1	2	3	4
<p>I. Комплексные регионально-прогнозные исследования</p>	<p>Общее геолого-структурное и металлогеническое изучение региона, выявление площадей, перспективных на скрытое магнетитовое оруденение для последующих более детальных исследований</p>	<p>а. Аэрогаммамагнитная съемка 1:200 000  б. Гравиметровая съемка 1:200 000   в. Геологическое картирование с геохимическими и металлогеническими исследованиями   г. Комплексные геолого-геофизические исследования по редкой сети опорных профилей: картировочное бурение, сейсморазведка, гавиразведка, магниторазведка, электро-разведка (ВЭЗ, профилирование и др.). В интересных участках по-высотные аэромагнитные измерения. Сеть наблюдений определяется размерами аномальных участков и площадью изучаемого региона</p>	<p>1. Анализ магнитных и гравиметровых полей с целью установления глубинного геологического строения региона на основе методов математической статистики и трансформаций полей  2. Установление закономерностей распределения различных типов пород и их оконтуривание, выделение элементов тектоники  3. Выделение аномальных зон, характерных для магнетитового оруденения   1. Составление комплекта геологических карт поверхности (под четвертичными отложениями) и палеозойского фундамента  2. Выделение металлогенических зон, перспективных на магнетитовое оруденение   1. Определение рельефа, глубин и элементов залегания коренных пород  2. Установление глубинного строения изучаемого региона вдоль линий профилей  3. Интерпретация геофизических аномалий  4. Введение поправок в данные гравиметровых измерений за глубины залегания коренных пород</p>

1	2	3	4
<p>II. Детальное геолого-прогнозное изучение перспективных площадей.</p>	<p>Изучение площадей перспективных на скрытое магнетитовое оруденение с целью выделения участков для поисков месторождений</p>	<p>Комплексное истолкование материалов этапа дает общую картину геологического строения региона, позволяет наметить металлогенические зоны и обосновать площади, перспективные для выявления скрытого оруденения</p> <p>а. Аэромагнитная съемка масштаба 1:25 000 с повысотными измерениями над наиболее интересными участками и аномалиями.</p> <p>б. Гравиметровая съемка масштаба 1:50 000</p> <p>в. Электроразведка по отдельным профилям</p> <p>г. Аэрогаммаспектрометрическая съемка масштаба 1:50 000</p> <p>д. Глубинное геологическое картирование с преобладанием горных работ; геохимические и металлогенические исследования масштаба 1:50 000</p>	<p>1. Анализ магнитных карт с целью установления элементов геологического строения площади</p> <p>2. Выделение наиболее интенсивных магнитных аномалий и аномалий, совпадающих со специфическими особенностями гравиметровых полей. Интерпретация данных современными способами с использованием ЭВМ</p> <p>3. Геологическое истолкование материалов повысотных измерений</p> <p>4. Выделение аномалий, перспективных на магнетитовое оруденение</p> <p>1. Количественная интерпретация поля <math>\Delta g</math> с целью установления глубинного геологического строения</p> <p>2. Выделение и интерпретация аномалий <math>\Delta g</math>, совпадающих с магнитными</p> <p>Уточнение глубины залегания и рельефа коренных пород</p> <p>Выделение геохимических ореолов с целью геологического районирования изучаемой площади</p> <p>Составление карт палеозойского фундамента с оконтуриванием рудных комплексов, продуктивных интрузивов, тектонических нарушений; сопоставление геохимических ореолов и металлогенических данных</p>

1	2	3	4
<p>III. Поисковые работы с целью выявления скрытых магнетитовых месторождений</p>	<p>Работы на перспективных участках и аномалиях с целью выявления скрытых магнетитовых месторождений</p>	<p>Комплексное истолкование материалов этапа дает возможность: составить кондиционные геологические карты, отражающие глубинное строение площади; выделить перспективные участки на скрытое магнетитовое оруденение; выделить объекты, наиболее близкие к рудным; построить геолого-геофизические глубинные разрезы, основанные на данных количественной интерпретации с прогнозной оценкой возможных запасов. В итоге определяются участки, аномальные зоны и отдельные аномалии, перспективные на скрытое магнетитовое оруденение, для постановки последующих поисковых работ</p> <p>а. Комплексные геофизические исследования: магнитная и гравиметровая съемки масштаба 1:10 000, ВЭЗ по профилям</p> <p>б. Повысотные магнитные съемки масштаба 1:10 000</p> <p>в. Поисково-картировочное бурение с проведением геохимических исследований и магниторазведки в скважинах</p> <p>г. Применение методов искусственно подмагничивания и магнитных вариаций в эпицентрах перспективных магнитных аномалий</p> <p>д. Бурение поисковых скважин по профилю вкрест оси аномалии с проведением скважинных магнитных измерений.</p>	<p>1. Уточнение характера аномальных зон</p> <p>2. Установление глубины и рельефа коренных пород</p> <p>3. Количественная интерпретация гравимагнитных данных для определения глубины залегания предполагаемых рудных тел, их размеров и элементов залегания.</p> <p>1. Выявление природы аномалий по кривым затухания магнитного поля</p> <p>2. Определение глубины нижней кромки возмущающего объекта</p> <p>3. Построение погоризонтных «карт-срезов»</p> <p>1. Уточнение геологического строения участка</p> <p>2. Выявление геохимических ореолов</p> <p>3. Оконтуривание рудных комплексов</p> <p>4. Установление зон метасоматических изменений пород.</p> <p>1. Установление природы магнитных аномалий. Передача перспективных аномалий для проверки бурением</p> <p>1. Подсечение магнетитового оруденения, определение его размеров и оценка промышленного значения</p>

1	2	3	4
IV. Предварительная разведка месторождения	Установление контуров выявления морфологии рудных тел, распространения оруденения по вертикали, оценка качества руд и запасов по категориям $C_1$ и $C_2$ . Предварительная геологическая, гидрогеологическая и технологическая характеристика месторождения.	<p>а. Проведение (при необходимости) крупномасштабных наземных магнитных и гравиметровых съемок</p> <p>б. Бурение разведочных скважин с разряжением и сгущением сети по данным скважинной геофизики</p> <p>в. Контроль за техническим состоянием скважин: инклинометрия, кавернометрия и т. п.</p> <p>г. Постановка стандартного комплекса каротажных исследований</p> <p>д. Постановка методов скважинной геофизики: магниторазведка, радиоволновое просвечивание, электрическая корреляция, естественное электрическое поле и др., для изучения структуры месторождения</p> <p>е. Постановка специальных измерений для оценки качества руд</p> <p>ж. Гидрогеологические исследования в скважинах (расходомерия, гидрокартаж, термометрия)</p>	<p>Уточнение структуры рудного поля и выявление отдельных залежей на флангах месторождений</p> <p>«Составление геолого-геофизических разрезов, карт и погоризонтных планов</p> <p>Определение месторождения осей скважин в пространстве для последующего учета при геологических построениях</p> <p>Выделение рудных интервалов, изучение их строения, полное или частичное расчленение литологии и корреляция пород от скважины к скважине</p> <p>Определение элементов залегания и размеров залежей, выявление рудных тел в окрестностях скважин, корреляционная увязка скважинных подсечений и т. д. на основе интерпретации геофизических данных. Построение модели месторождения путем моделирования магнитных полей</p> <p>Содержание магнетитового железа в рудах определяется из измерений магнитной восприимчивости. Для определения общего железа, что особенно важно для оценки качества окисленных руд, используются скважинные методы гамма-спектрометрии</p> <p>Выделение водопритоков по стволу скважины (глубина, мощность, дебит), установление гидрохимической зональности, изучение динамики подземных вод и геотермических условий</p>
		Результатом предварительной разведки является приближенная, но достаточно надежная оценка значения месторождения, определяющая целесообразность его дальнейшей детальной разведки	

Анализ магнитного поля по скважине позволил установить значительные размеры тела по падению и простиранию. Эти прогнозы были подтверждены последующими буровыми работами. Скважиной 942 основное рудное тело не вскрыто, однако по ней зафиксирована «боковая» аномалия магнитного поля, указывающая на наличие возмущающего объекта к югу от ствола скважины на расстоянии 50—70 м.

Таким образом, уже на первой стадии поисково-оценочных работ скважинная магнитометрия дала возможность оценить масштабы выявленного рудного тела и внести необходимые уточнения в состав геологоразведочных работ на участке и размещение скважин.

На последующих этапах работ на участке материалы скважинных геофизических исследований (скважинная магнитометрия, РВП, МЭК) позволили установить сплошность рудного тела в межскважинном пространстве и уточнить его размеры, строение, а также наметить участки существенного увеличения мощности. Так, материалы магнитометрических исследований по скважинам 942 и 948 давали основание предполагать увеличение мощности рудного тела в межскважинном пространстве. Пробуренная впоследствии скважина 611 подтвердила эти данные—скважиной вскрыта рудная зона мощностью 25 м.

Результаты геофизических исследований свидетельствуют о достаточно высокой их эффективности на всех стадиях поисков и разведки железорудных месторождений. Достижение дальнейшей экономической эффективности при удорожающемся в целом процессе поисков и разведки глубокозалегающих месторождений может быть обеспечено за счет:

- 1) закрепления основных положений методики комплексных работ и опережающей роли геофизических исследований в соответствующих инструкциях. В частности, геофизическое обследование всех скважин и выработок должно стать обязательным;

- 2) дальнейшего совершенствования прямых методов поисков: искусственного подмагничивания вариаций магнитного поля и геохимических исследований.

Особо отметим необходимость разработки комплекса обязательных мероприятий по сохранению поисково-разведочных скважин и выработок на многие годы. Это позволит возвращаться к измерениям геофизических полей с повышенной точностью и для постановки измерений вновь разработанными методами исследований.

Ю. З. ХАЛИН, К. А. БАТЫРГОЖИН

(Комплексная геолого-тематическая экспедиция Минцветмета КазССР)

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ С ЦЕЛЬЮ ДЕТАЛИЗАЦИИ КОНТУРОВ ОТРАБОТКИ РУД В КАРЬЕРАХ\*

В условиях обрабатываемых открытым способом месторождений Центрального Казахстана Карагайлы и Саяк проводились опытно-методические электроразведочные работы с целью обнаружения и оконтуривания рудных тел.

Необходимость проведения геофизических исследований была вызвана тем, что часто наблюдается несоответствие результатов геологической разведки с данными эксплуатации, что не позволяет оперативно вносить коррективы в планы и разрезы генерального подсчета запасов с целью повышения эффективности отработки месторождений, снижения потерь и разубоживания руд. Знание контуров рудных тел на подготавливаемых к отработке горизонтах карьеров до обустройства их сетью отбойных (взрывных) шарошечных скважин для горнорудных предприятий является важной задачей.

Так, для перспективного планирования отработки промышленных руд в карьере Карагайлы, наряду с использованием данных бурения скважин, применяется проходка канав на уступах карьеров, по результатам опробования которых пунктирно-бороздовыми пробами определяются контуры рудных тел. Выявление и оконтуривание рудных тел с помощью такого традиционного геологического метода является малопроизводительной и дорогой операцией, поскольку канавы проходятся вручную без применения каких-либо средств механизации. Сечение канав  $0,5 \times 0,5$  м, длина от 20 до 100 м.

Для планирования отработки сложных по строению медно-скарновых рудных тел в условиях карьеров месторождения Саяк используются данные разведки скважинами по сети  $25 \times 25$  м и даже  $12,5 \times 12,5$  м.

Несмотря на применение густой сети скважин и проходку канав, при отработке месторождений наблюдаются значительные потери и разубоживание руд.

Привлечение геофизических методов, обладающих высокой производительностью и высокой геологической эффективностью, с целью выявления и оконтуривания рудных тел на уступах карьеров, является одним из реальных путей повышения эффективности эксплуатационных работ за счет снижения потерь и разубоживания руд, а также уменьшения стоимости геологоразведочных работ вследствие сокращения объемов бурения скважин и проходки канав на участках, безрудность которых установлена с помощью геофизических методов.

Месторождение Карагайлы представлено так называемым Глав-

\* Даже при работах на поверхности карьеров (не говоря уже о скважинах) два признака подземной геофизики сохраняют силу: приближение к искомым объектам и снижение влияния поверхностных неоднородностей. (Прим. ред.).

ным участком, барит-полиметаллическая рудная залежь которого сбросо-сдвиговым нарушением разбивается на две части: Большую и Малую линзы.

Рудная залежь Большой линзы, в пределах которой проводились работы, имеет крайне сложное строение. Сложность ее обуславливается тем, что линзовидные тела различного литологического состава постепенно переходят друг в друга, выклиниваются или сложно расщепляются, как по простиранию, так и по падению, и часто разъединяются прослоями безрудных пород.

В пределах месторождения выделяются следующие типы руд: свинцово-цинково-баритовые, свинцово-цинковые, свинцовые, цинковые, баритовые и медные. Рудные минералы представлены галенитом, сфалеритом, баритом, халькопиритом, магнетитом.

Проводящими и поляризующимися минералами являются галенит, халькопирит и магнетит.

Месторождение Саяк—медно-скарнового типа. Оно в северной части приурочено к контакту гранодиоритовой интрузии средневарисского комплекса с толщей известняков и мраморов нижнего карбона. В южной части месторождения толща известняков и мрамора уступает место туфоалевролитам и ороговикованным песчаникам.

Все породы месторождения пронизаны массой даек, различных по мощности и простиранию, которые представлены кварцевыми и роговообманковыми порфиритами, диоритовыми порфиритами и микродиоритами.

Оруденение связано с гранатовыми, магнетит-гранатовыми и пироксен-гранатовыми скарнами и в меньшей мере—со скарнированными вмещающими породами.

Рудные тела весьма многообразны по своим параметрам, формам, условиям залегания. Форма рудных тел может быть определена как пластообразная, неправильно удлиненно-пластообразная или неправильно лентообразная, жилообразная. В узлах пересечений жилообразных тел с зонами других направлений образуются раздувы и разветвления сложной трубообразной, карманообразной, грибообразной формы.

По условиям залегания и морфологическим особенностям развиты два основных типа рудных тел: крутопадающие, несогласные с элементами складчатой структуры рудные тела, локализующиеся в зоне контакта с интрузией и в самой интрузии, и пологопадающие согласные и субсогласные с элементами складчатости пластообразные рудные тела.

Первый тип рудных тел развит в северной части месторождения, а в южной части такие тела слагают крылья антиклинальной складки. Второй тип рудных тел развит только в южной части месторождения.

По минеральным ассоциациям выделяют три основных типа руд: медно-магнетитовые, медные в скарнах и медные в гранодиоритах. Медные руды в скарнах—основной тип руд.

Основными проводящими и поляризующимися минералами являются халькопирит и магнетит.

Благоприятными условиями, определяющими применимость геофизических методов для решения задач геометризации рудных тел, является достаточно четкая дифференциация пород и руд по проводимости и поляризации. Осложняющими же факторами являются высокий уровень помех, блуждающие токи от промышленных установок, наличие в карьерах многочисленного оборудования, трудные условия заземления электродов и пр.

Для того, чтобы не только выявить рудные тела на уступах карьеров с помощью геофизических методов, но и получить исчерпывающую информацию о мощности и положении контакта рудных тел со вмещающими породами в плане и на глубину, в процессе проведения опытных работ необходимо было определить оптимальные типы и размеры установок. При этом учитывались следующие условия: во-первых, они должны быть таких размеров, чтобы по всей площади горизонтов рудные тела выделялись на графиках достаточно отчетливыми аномалиями; во-вторых, чтобы с помощью их достигалась достаточная глубинность исследования; в-третьих, чтобы разносы были минимальными, что влечет повышение производительности работ, к тому же на малых приемных линиях влияние промышленных токов меньше, чем на больших. Помимо этого принималась во внимание технология отработки рудных тел. Различные технологические приемы отработки рудных тел обусловлены необходимостью снижения коэффициентов разубоживания руд, которые на месторождении Саяк достигают 40—50%.

Наиболее эффективными методами обнаружения и оконтуривания повышенной концентрации сульфидов от сплошной до вкрапленной в горных породах оказались ДЭМП, ВП.

Наблюдения методом ДЭМП проводились аппаратурой АЭММ—ЗА с диполями размером  $0,3 \times 0,3$  м. В качестве основной использовалась частота 2048 кгц, а вспомогательной—512 кгц.

В процессе опытных работ установлено, что задачи выявления и оконтуривания в плане крутопадающих рудных тел с углом падения  $60—80^\circ$  наиболее успешно решаются методом ДЭМП с разносом 10 м по сети  $2,5 \times 10$  м.

Задачи оконтуривания в плане и оценки глубины залегания кровли пологих рудных тел в интервале подступа 7,5 м решались методом ДЭМП с разносами 10 и 15 м, глубинность исследования которыми составляла соответственно 5 и 7,5 м, т. е. половину размера установки.\* Работы методом ДЭМП выполнялись в два этапа. На первом наблюдении проводились по сети  $2,5 \times 10$  м. На втором ставились наблюдения на детализационных профилях, проходящих посередине рядовых в пределах аномалий проводимости. Таким образом аномальные участки, обусловленные рудными телами, исследовались по сети  $2,5 \times 5$  м.

С целью дополнения и уточнения данных ДЭМП, выявления рудных тел вблизи дневной поверхности, а также детализации границ рудных тел проводились работы методом ВП по схеме профилирования с аппаратурой ВПО—62 в режиме однополярных импульсов поляризуемого тока длительностью 20 сек. Наблюдения осуществлялись установками А2М1N2В и А2М1N∞В.

Увеличение размера установок влечет за собой снижение точности определения контакта пород и руд, а также увеличение уровня промышленных помех до пределов, соизмеримых с уровнем полезного сигнала.

Наблюдения методами ДЭМП и ВП выполнялись по профилям, ориентированным вкрест простирания рудных тел.

Основными факторами, позволяющими выделять рудные тела методом ВП, являются повышенная, более 5%, поляризуемость и пониженное сопротивление их по сравнению со вмещающими породами.

Критериями выделения аномалий ДЭМП, обусловленных рудной сульфидной минерализацией, являются повышенные значения отношений радиальной  $H_r$  и вертикальной  $H_z$  компонент электромаг-

\* Это чисто условное определение. На самом деле, помимо разноса, глубинность зависит и от геоэлектрического разреза. (Прим. ред.).

нитного поля и пониженные значения эффективного сопротивления ( $\rho_{эф}$ ). При этом  $\rho_{эф}$  среды определялось по палетке, рассчитанной в тресте «Сибцветметавтоматика».

Ввиду того, что измеряются компоненты электромагнитного поля, ДЭМП в условиях карьеров при наличии непроводящего разрушенного взрывами слоя горных пород мощностью 0,5—1,0 выгодно отличается от метода ВП, требующего устройства заземлений.

На рис. 1 изображено сопоставление контуров рудных тел по результатам работ методами ДЭМП и ВП и данных опробования канав 85 а и 85 б, пройденных с целью проверки аномалий поляризуемости и проводимости. Из рисунка видно, что промышленная руда по данным опробования находится в интервалах геофизических аномалий. При этом наблюдается хорошая сходимость положения границ рудных тел по геофизическим и геологическим данным.

Анализ результатов опытно-методических геофизических работ по-

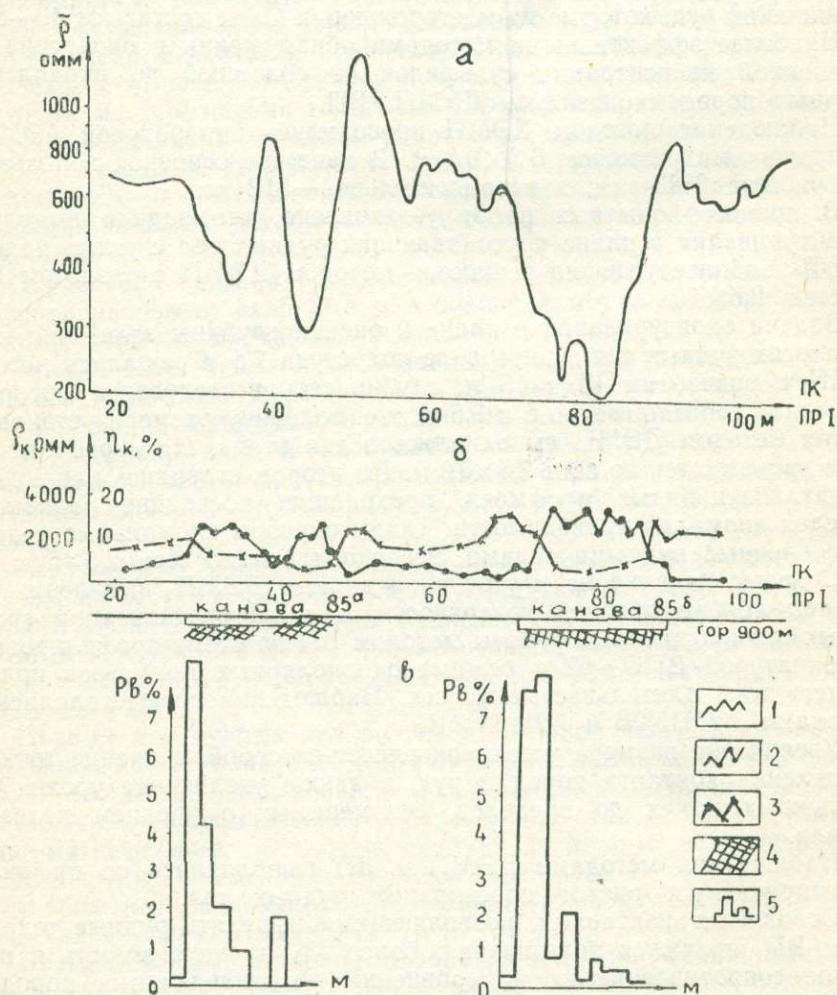


Рис. 1. Сопоставление результатов работ методами ДЭМП (а) и ВП (б) с данными геологического опробования (в). Карьер Карагайлы, горизонт 900 м. 1—кривые  $\rho_{эф}$  (ДЭМП); 2—кривые  $\eta_k$ ; 3—кривые  $\rho_k$ ; 4—рудные тела по геофизическим данным; 5—график содержания свинца в пробах, отобранных по канавам 85 а и 85 б.

казал высокую геологическую эффективность геофизических методов. Каждые 10 пог. м канав, пройденных с учетом геофизических работ, вскрывают 9,3 пог. м мощности рудных тел, в то время как каждые 10 пог. м канав, пройденных с учетом только данных бурения разведочных скважин, вскрывают 3,9 пог. м мощности рудных тел.

На рис. 2 приведены результаты работ методом ВП на южной оконечности рудного тела I месторождения Саяк. Несмотря на разведанность рудного тела по категории В, все же наблюдаются расхож-

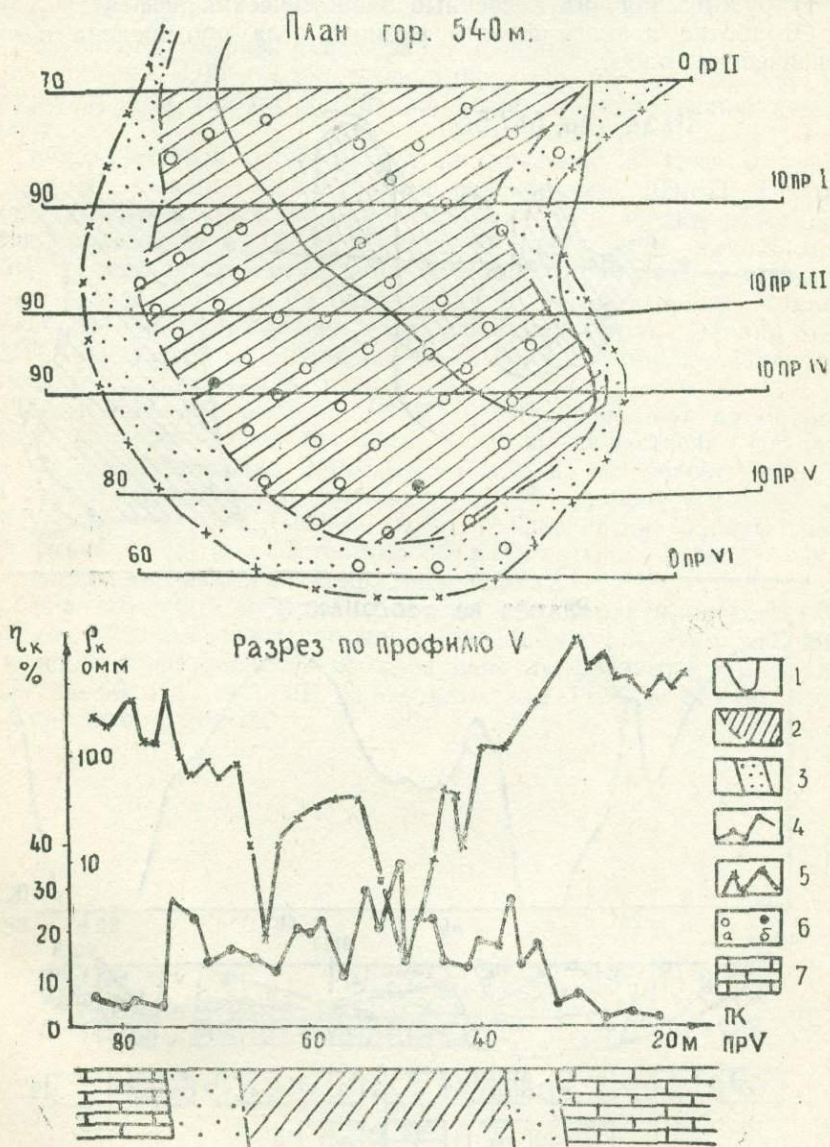


Рис. 2. Сопоставление результатов геофизических работ с данными обработки Южного фланга рудного тела I, Карьер Саяк I, горизонт 540 м. 1—контуры рудного тела по геологическим данным; контуры рудной минерализации по геофизическим данным; 2—агрегативной; 3—прожилково-вкрапленной; 4—графики  $\rho_k$ ; 5—графики  $\gamma_k$ ; 6—скважины: а—рудные, б—безрудные; 7—мрамор

дения между контурами рудного тела по разведке и по эксплуатации. Примером этому могут служить результаты геофизических работ.

Методом ВП уточнены контуры рудного тела, которые оказались смещенными относительно геологических в среднем на 20 м на юг.

Каротаж и опробование отбойных скважин, пробуренных после проведения работ методом ВП, подтвердили контуры рудного тела по методу ВП. При этом за счет прироста запасов руды (около 70 тыс. т) рудник получил косвенный экономический эффект в 350 тыс. руб. Отработка южного фланга рудного тела произведена с учетом геофизических работ.

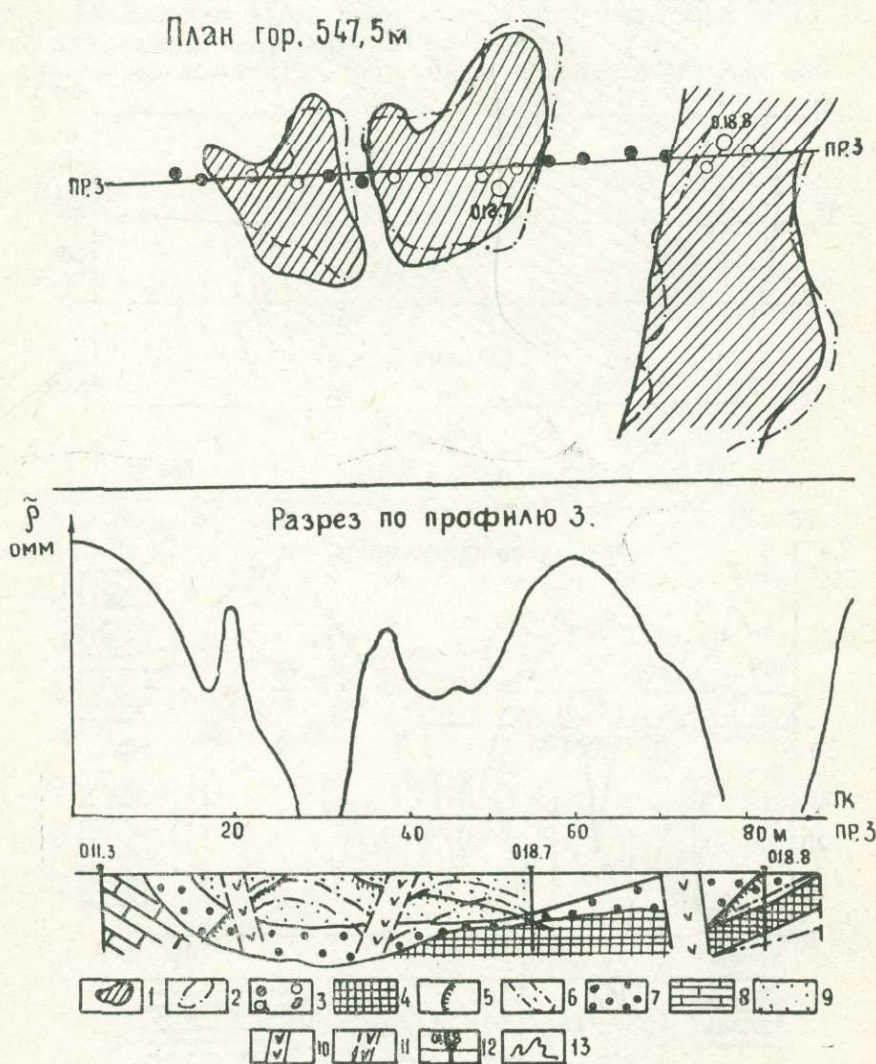


Рис. 3. Результаты геофизических работ на горизонте 547,5 м. Карьер Саяк. 1—контуры рудных тел по ДЭМП; 2—контуры рудных тел по отработке; 3—скважины: а—рудные, б—безрудные; 4—контуры рудных тел по промразведке; 5—кровля рудных тел по ДЭМП; 6—рудные тела по каротажу; 7—скарны; 8—мрамор; 9—песчаники; 10—дайки по геологическим данным; 11—дайки по геофизическим данным; 12—разведочные скважины; 13—кривая  $\rho_{эф}$

Помимо этого, с помощью метода ВП удалось в какой-то мере дифференцировать рудное тело. Центральная часть его (рис. 2) сложена сплошными агрегативными медно-магнетитовыми рудами, а периферийная—прожилково-вкрапленными.

Агрегативные руды от прожилково-вкрапленных не отличаются по поляризуемости—поляризуемость и тех и других достигает 30%, в то время как первый тип руд отмечается довольно низкими сопротивлениями, менее 100 ом, а второй тип руд имеет сопротивление от 100 до 500 ом.

Результаты геофизических работ с целью выявления и оконтуривания пологих рудных тел иллюстрируются на рис. 3. Как видим, контуры рудных тел по ДЭМП, каротажу и опробованию почти совпадают.

Геолого-геофизический разрез по профилю 3 (рис. 3) построен по данным разведки колонковыми скважинами, ДЭМП и каротажа отбойных шарошечных скважин. По данным разведки между колонковыми скважинами 0187 и 0188 должна быть руда, однако методом ДЭМП в этом интервале руды не отмечено. Пробуренные шарошечные скважины также руды не встретили. С другой стороны, в пределах пикетов 20—40 по разведке руды не должно быть. Однако методом ДЭМП, каротажом и опробованием шлама отбойных скважин здесь выявлена промышленная руда.

Таким образом, методы ДЭМП и ВП позволяют до обустройства уступов карьеров сетью отбойных скважин существенно детализировать контуры отработки промышленных руд, что обеспечит селективную отработку рудных и породных блоков с целью снижения потерь и разубоживания руд. Помимо этого, геофизические работы способствуют уменьшению дорогостоящих объемов бурения разведочных скважин и проходки канав по безрудным блокам.

Геофизические методы внедрены на Карагайлинском ГОК и Саякском руднике. Согласно предварительным расчетам годовая экономическая эффективность от внедрения геофизических методов составит 50—60 тыс. руб. на Карагайлинском ГОК и 80—90 тыс. руб. на Саякском руднике.

П. В. ВИШНЕВСКИЙ

(ВНИИГеолнеруд Мингео СССР)

## ПОДЗЕМНАЯ ГЕОФИЗИКА ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ НЕРУДНЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Нерудные полезные ископаемые включают в себя более 160 горных пород и минералов, народнохозяйственная значимость, уровень добычи, а также сферы использования которых непрерывно возрастают. Для этих видов минерального сырья все более актуальными становятся вопросы разработки и совершенствования методики комплексных геолого-геофизических исследований. Дополняя и расширяя возможности наземных геофизических методов, подземная геофизика обеспечивает изучение особенностей геологического строения на удалении от скважин, горных выработок и полостей естественного происхождения и в пространстве между ними.

При поисках и разведке неметаллических полезных ископаемых подземные геофизические исследования выполняют методами радиоволнового, сейсмоакустического, пьезо- и сейсмоэлектрического просвечиваний, методические особенности проведения которых несколько видоизменяются в зависимости от специфики конкретных геологических условий. Под землей находят применение и традиционные методы полевой (наземной) геофизики, а также осуществляется комплексирование наземных и подземных геофизических наблюдений. Так, при изучении апатитоносных залежей Хибин эффективным оказывается сочетание наземной и подземной гравиметровой и градиентометрической съемок, а также скважинных гравиметрических исследований [4]. Остановимся на некоторых особенностях подземных геофизических работ.

Достаточно результативны подземные геофизические исследования на месторождениях карбонатного сырья, значительная часть которых в определенной степени поражена карстом. Наряду с наземными электроразведочными исследованиями, изучение карста осуществляется и из подземных горных выработок, благодаря чему получают дополнительные сведения о внутренней закарстованности карбонатных массивов [2].

В Эстонском сланцевом бассейне подземными и наземными электроразведочными исследованиями достаточно четко прослежены участки интенсивной закарстованности ордовикских известняков и контролирующие их тектонические нарушения [1]. Последние отмечаются пересечениями кривых наземного дипольного электрического профилирования (ДЭП), совпадающими с минимумами  $\rho_k$  регистрируемыми установками подземного 2-разносного симметричного электрического профилирования (СЭП). В Институте геологии АН ЭССР разработаны методические вопросы «2-плоскостного» ДЭП (питающий диполь на дневной поверхности, измерительный—в горных выработках), позволяющего выделять тектонические нарушения на глубинах до 20—40 м и на расстояниях в несколько сот метров от горной выработки. При выделении горными выработками карстовых полостей в карбонатах успешно используется и подземное 2-разносное СЭП по 3 профилям,

с расположением одного из них по оси, а двух других—вдоль стенок горной выработки.

В подземных полостях закарстованных кимеридж-титонских известняков Долгоруковского массива (Горный Крым) исследования методами ВЭЗ и срединного градиента проводились по криволинейным профилям. При этом выяснено, что максимумами  $\rho_k$  ( $7-14 \cdot 10^3$  ом) фиксируются карстовые образования и участки развития необводненных карбонатов, а минимумами  $\rho_k$  ( $50-200$  ом)—подземные водоемы, обводненные зоны и другие низкоомные объекты.

При выявлении карстовых пустот радиоволновой электроразведкой американскими геофизиками апробированы методы РВП и емкостный. Первый из них позволяет изучать распределение электромагнитного поля между подземными плоскостями, в которых располагается и приемная, и передающая аппаратура. Аномалии, фиксируемые емкостным методом, преимущественно связаны с зонами повышенной трещиноватости и закарстованности пород, сопровождаемыми гидрогеологическими неоднородностями разреза.\*

Карстовые полости, заполненные проводящим материалом, обуславливают аномалии при наблюдениях методом СДВ-радиокип. На одном из месторождений Урала среди вмещающих терригенно-вулканогенных отложений этим методом оконтурены карбонатные образования и зоны их закарстованности. К последней приурочены аномалии типа «проводящего пласта» (максимум горизонтальной ( $H_p$ ) и минимум вертикальной ( $H_z$ ) составляющих электромагнитного поля). При межскважинном радиоволновом просвечивании (РВП) исследуется распределение электрической составляющей радиоволнового поля и коэффициента его экранирования ( $K_{эк}$ ). Изучая особенности геологического строения пород между горными выработками или естественными полостями, приемную рамку ориентируют по азимуту, совпадающему с максимальными амплитудами  $H_p$ .

Разведка закарстованности тульских известняков и обводненных зон перекрывающих их терригенных отложений Подмосковья проводилась с использованием метода СДВР. Измерялись горизонтальные составляющие магнитной и электрической компонент поля радиостанции, работающей на частоте 16 кгц, и угол наклона магнитной компоненты к горизонту  $\alpha$ . В результате проведенных исследований пониженными значениями параметра  $\rho_{эфф}$ , представляющего собой произведение сопротивления и магнитной проницаемости среды, выявлена локальная проводящая зона. При ее разбуривании встречены высоко-трещиноватые и водоносные породы [3]. Измерения установкой метода срединных градиентов отметили неидентичность кривых  $\rho_k$  и  $\rho_{эфф}$ , что, по-видимому, обусловлено более тесной связью геоэлектрической характеристики обводненных частей разреза с сопротивлением пород и меньшим влиянием гидрогеологических особенностей разреза на изменения параметра  $\rho_{эфф}$ .

Изучение карстовых образований Калифорнии выполнялось с привлечением электромагнитных измерений в УКВ-диапазоне. При благоприятных геоэлектрических условиях этот метод обеспечивает выявление и прослеживание водоносных горизонтов и обводненных пород, заполняющих карстовые полости, до глубин 18—20 м [6, 7].\*\*

\* Следует указать, что емкостный метод был предложен еще полвека назад, но из-за крайнего «близкодействия» (первые метры) распространения не получил (Прим. ред.).

\*\* Весьма сомнительные публикации. Это подтверждается и нижеприведенными данными о работах на пегматитах. (Прим. ред.).

Поисково-разведочные работы на Негребовском месторождении доломитизированного мрамора (Украина) включали в себя исследование методом РВП на частоте 20 мгц. Плохо проводящим продуктивным образованиям присущи малые значения  $K_{эк}$  [5]. Секущие их тела гранитов и гнейсов ( $\delta_k \leq 2,5-3 \cdot 10^3$  ом) выделяются аномально повышенными (от 5 до 100) величинами  $K_{эк}$ .

РВП в УКВ-диапазоне использовалось на Украине и для выявления хрусталеносных пегматитов, генетически и пространственно связанных с рапакивидными гранитами. Аномалии РВП исследовались пьезоэлектрическим методом и проверялись бурением. Проведенными здесь исследованиями выяснено, что интерференционные помехи, возникающие в результате отражения волн от рыхлого слоя и зоны выветривания, в большинстве случаев исключают возможность изучения методом РВП верхней 25—30-метровой части разреза. На Кольском полуострове для обнаружения пегматитовых жил, обладающих пониженной проводимостью, успешно использовалось межскважинное просвечивание на постоянном токе.

Прогнозно-поисковые работы на флюорит в Забайкалье проводятся с широким привлечением электроразведочных методов. Последние, включая и РВП, используются для картирования геологических структур, благоприятных для локализации глауковешпатового оруденения. При изучении барит-полиметаллических месторождений РВП, в комплексе со скважинными вариантами ВП и ЕП, нередко используется для оконтуривания продуктивных рудных тел. Использовалось РВП и при изучении графитовых месторождений. На Алданском нагорье метод радиокип привлекался к картированию контактов разнородных пород и тектонических нарушений, контролирующих зоны развития флогопитового оруденения.

Проведение исследований методами подземной геофизики целесообразно при поисках и разведке широкого круга неметаллов, однако такие исследования осуществляются в довольно ограниченных объемах. Более широкое и обоснованное их проведение сдерживается рядом обстоятельств, и в частности, отсутствием соответствующих методических руководств и наставлений, разработка и широкая апробация которых являются достаточно актуальными темами научно-исследовательских, опытно-методических и тематических работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андра Х., Хейнсалу Ю., Юргенфельт Г. О применении подземного электрического профилирования для изучения закарстованных зон тектонических нарушений.— «Изв. АН ЭССР. Сер. химия и геология», № 16/2, 1967.
2. Вишневский П. В., Пинягина Л. В. Применение геофизических методов для изучения закарстованности месторождений карбонатных пород.— «Обзор ВИЭМС. Сер. регион., разведоч. и промысл. геофизика». М., 1975.
3. Мясников Ю. Г., Городниченко В. И., Коваленко В. Д. Гидрогеологическое картирование методом радиокип в СДВ-диапазоне в условиях Подмосковского бассейна.— «Изв. вузов. Сер. геология и разведка», № 7, 1970.
4. Вишневский П. В., Пинягина Л. В., Шабалин Н. Я. и др. Поиски и разведка месторождений горнотехнического сырья геофизическими методами.— «Обзор ВИЭМС. Сер. регион., развед. и промысл. геофизика». М., 1975.
5. Головцын В. Н., Смольников В. М., Дублянский В. Н., Иванов Б. Н. Применение геоэлектрических исследований к решению основных проблем карста Горного Крыма. Киев, «Наукова думка», 1966.
6. Kennedy G. M. A microne radiometric study of buried karst topography.— «Bull. Geol. Soc. America», 79, № 6, 1968.
7. Kenneth A. Comments on „A microne radiometric study of buried karst topography“ by G. M. Kennedy.— «Bull. Geol. Soc. America». 81, № 2, 1970.

Н. Н. ШАРАПАНОВ, А. Д. СУДОПЛАТОВ, В. С. ЗИНЧЕНКО

(ВСЕГИНГЕО, МГРИ Минвуза РСФСР)

## ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛЕВОЙ И ПОДЗЕМНОЙ ГЕОФИЗИКИ В ГИДРОГЕОЛОГИИ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

При производстве съемок среднего и крупного масштаба необходимо получение инженерно-геологических характеристик горных пород и их гидрогеологических параметров с высокой степенью детальности, как по площади, так и по глубине. В связи с этим становится целесообразным выявление и изучение возможных корреляционных связей между геофизическими и водно-физическими показателями.

Особенностью геофизических исследований при решении задач гидрогеологии и инженерной геологии является, как правило, изучение разрезов на небольшие глубины (от единиц до десятков и реже сотен метров). При этом появляется возможность увязки результатов наземных, скважинных и околоскважинных методов с результатами инженерно-геологического опробования в горных выработках.

К настоящему времени институтом ВСЕГИНГЕО совместно с МГРИ разработана методика совместного использования результатов наземных и скважинных измерений, которая опробована при производстве работ на площадях гидрогеологических и инженерно-геологических съемок масштаба 1:50 000 для целей мелиорации и на участках развития оползневых процессов и дала положительные результаты. Скважинные измерения включают в себя методы стандартной электрометрии, вызванной поляризации, естественной радиоактивности, волновой электромагнитный каротаж (определение диэлектрической проницаемости и электропроводности пород на высоких частотах).

Комплекс наземных электрических методов включает в себя электроразведку методами постоянного тока и ВП.

Обработка и анализ результатов значительного объема параметрических измерений в различных районах позволили установить ряд закономерностей и взаимосвязей. Выявленные в итоге этих исследований закономерности сводятся к следующему.

Общая минерализация подземных вод оказывает определяющее влияние на величину электрического сопротивления водонасыщенных пород ( $\rho$ ), однако на характер зависимости  $\rho=f(U)$  также влияет степень глинистости пород.

На рис. 1 по данным более 300 определений приведены эмпирические зависимости удельного электрического сопротивления пород от общей минерализации подземных вод. Зависимости построены по данным интерпретации ВЭЗ и каротажа гидрогеологических скважин, пробуренных в аллювиальных отложениях реки Аму-Дарьи в Южном Приаралье [4].

На рисунке отчетливо выделяются четыре типа графиков, характеризующие степень влияния литологического состава (особенно глинистости пород) на характер этих зависимостей.

Пористость  $P_n$  принимает четыре значения:  $P_n^I=3$ ,  $P_n^{II}=3,5$ ,  $P_n^{III}=4,4$  и  $P_n^{IV}=7,5$ .

Нетрудно заметить, что увеличение пористости осадочных аллювиальных образований связано с увеличением содержания глинистых частиц, что подтверждено гранулометрическим анализом образцов.

Для условий Заволжья уравнение множественной корреляции  $l_m(M+1,7)=3,63-0,14\rho-0,015\Gamma+0,016\rho^2$ ; коэффициент корреляции 0,904 при числе исходных данных  $N=70$ .

Величина электрического сопротивления пород зоны аэрации определяется степенью общей засоленности пород ( $\Gamma C$ ), их глинистостью и влажностью. На рис. 2 дан пример такой зависимости для одного из районов.

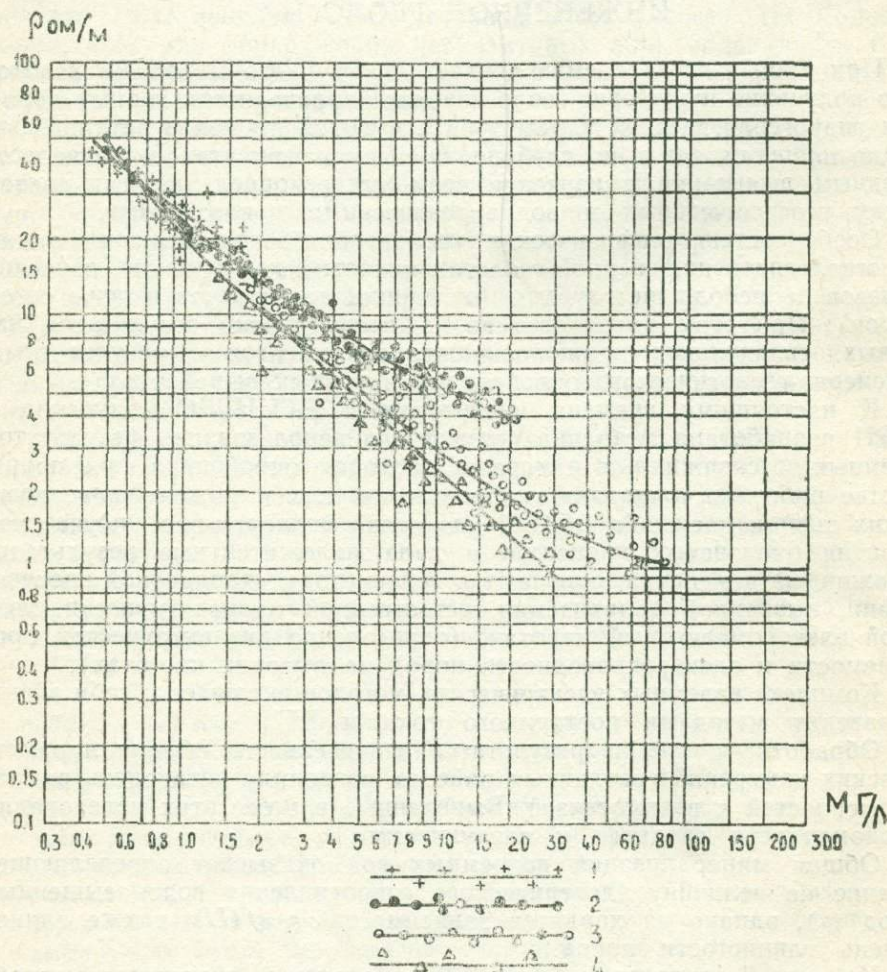


Рис. 1. Зависимости удельного электрического сопротивления от минерализации подземных вод

1—песчаники мелкозернистые; 2—песчаники тонкозернистые рыхлые; 3—песчаники глинистые, супеси; 4—песчаники глинистые, глины запесоченные.

Литологический состав рыхлых песчано-глинистых пород оказывает определяющее влияние на величину параметра  $A^*$  [3]. На рис. 3,а приведены графики зависимости  $A^*=f(\Gamma)$  для засоленных и не-

засоленных пород зоны аэрации ( $\Gamma$ —содержание частиц, диаметром менее 0,01 мм).

В результате изучения корреляционных связей между геофизическими параметрами и коэффициентом фильтрации водонасыщенных песков и пород зоны аэрации выявилось, что наиболее высокой степенью корреляции обладает зависимость  $A^* = f(K_f)$ . При этом дополнительно необходимо учитывать изменение величины удельного электрического сопротивления, вызванного за счет изменения минерализации вод и степени засоления пород зоны аэрации. Соответствующие графики зависимостей приведены на рис. 3,б.

До настоящего времени составление таких корреляционных зависимостей проводилось путем прямого сопоставления результатов количественной интерпретации кривых ВЭЗ и ВЭЗ ВП с данными опробования скважин и параметрических горных выработок. Это требует выполнения значительного объема опробовательских работ, причем в оперативном плане, что не всегда возможно по организационным причинам. Вторым существенным недостатком такого построения является дискретность опробования ствола скважины, что приводит иногда к неправильным выводам при сопоставлении данных.

В связи с этим была сделана попытка заменить часть исходных материалов, получаемых в результате прямого опробования, данными, получаемыми в результате скважинных измерений.

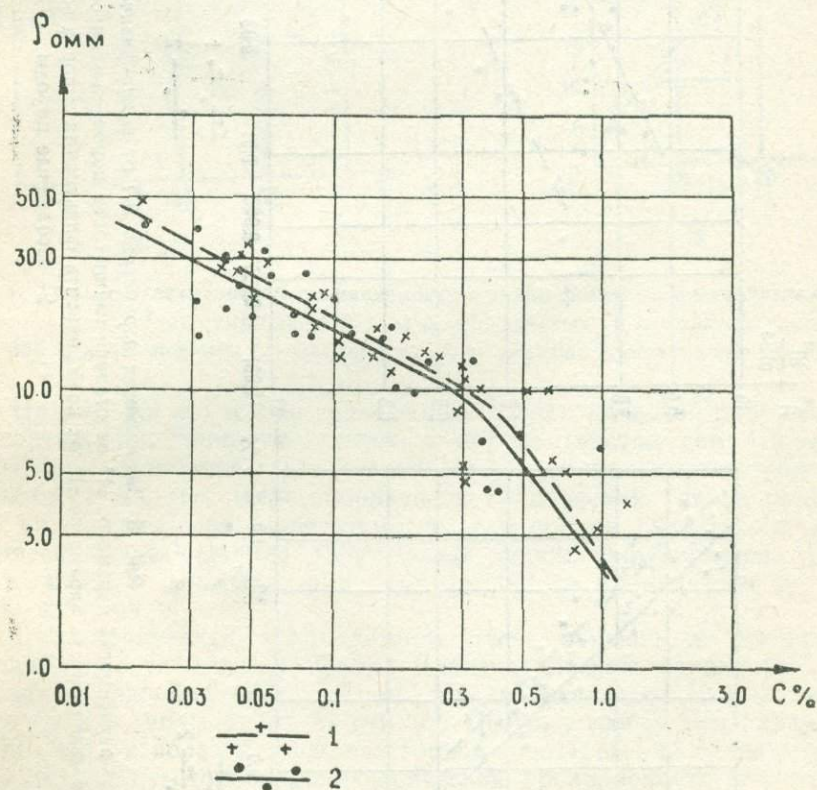


Рис. 2. Зависимость удельного электрического сопротивления от общей засоленности пород зоны аэрации (средние суглинки).

1—по данным наземных измерений; 2—по данным ВКП.

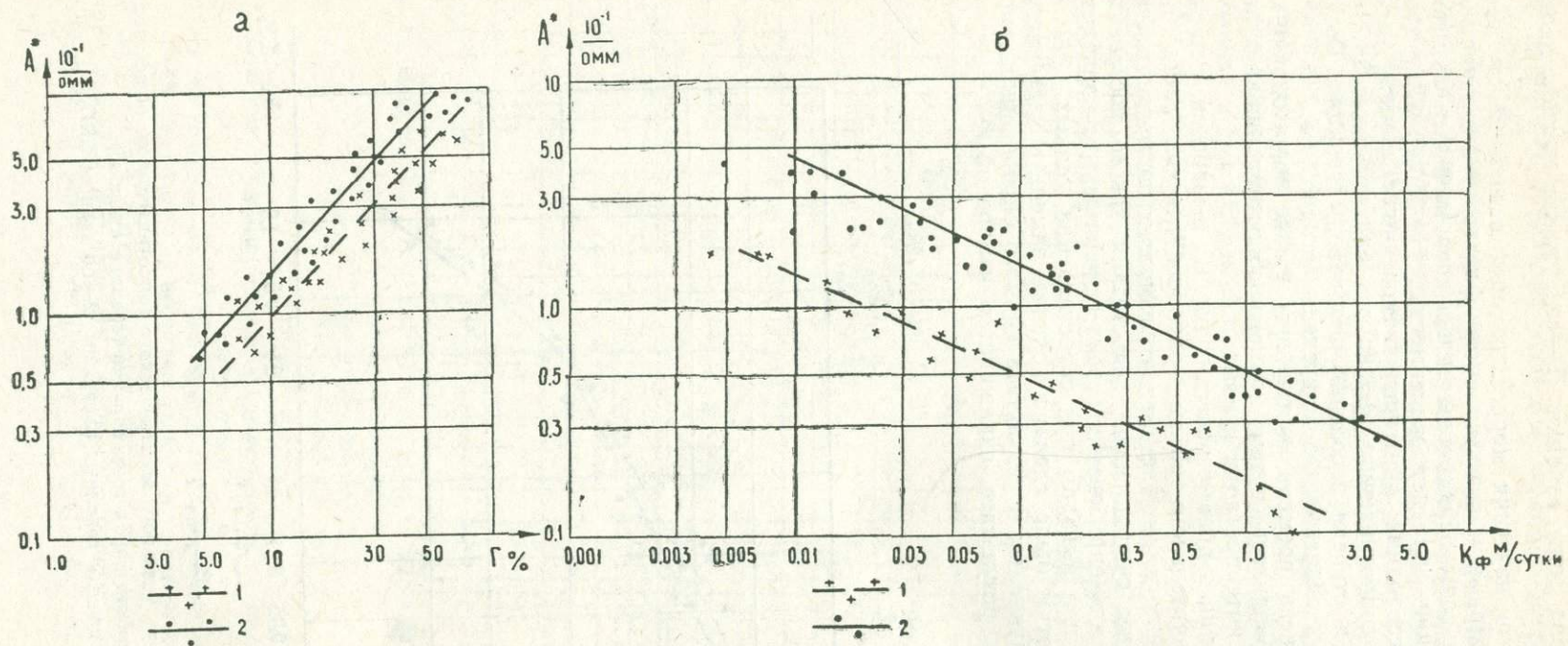


Рис. 3. Зависимости параметров ВП от водно-физических свойств пород-  
 а—зависимость параметра  $A^*$  от степени глинистости пород. 1—незасоленные грунты; 2—засоленные грунты.  
 б—зависимость параметра  $A^*$  от коэффициента фильтрации пород зоны аэрации: 1—незасоленные породы;  
 2—засоленные породы.

Основными параметрами, определяемыми в процессе скважинных исследований, являются удельное электрическое сопротивление  $\rho$  (по результатам КС и волнового каротажа проводимости—ВКП), диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  (по результатам волнового диэлектрического каротажа—ВДК [1], естественная гамма-активность и потенциалы ПС. Комплексное использование этих геофизических параметров позволяет решать те или иные задачи, возникающие при гидрогеологических исследованиях, в частности, для получения корреляционных зависимостей, выделения водоносных горизонтов, оценки водообильности пород и др. [2]. Как уже отмечалось, характер зависимости удельного сопротивления от минерализации и засоленности пород в значительной мере определяется степенью глинистости.

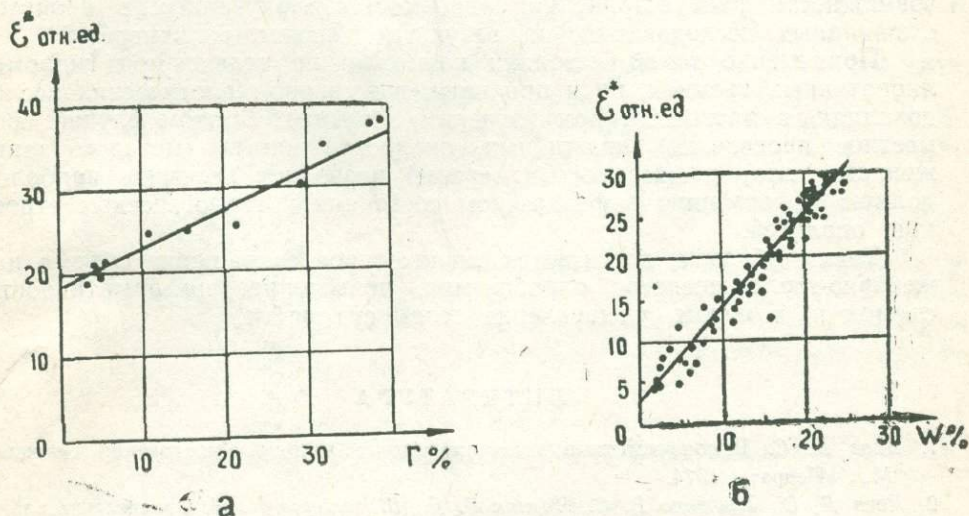


рис. 4. Связь диэлектрической проницаемости с водо-физическими свойствами пород а—зависимость  $\epsilon^*$  от суммарного содержания глинистых и пылеватых частиц (полное водонасыщение); б—зависимость  $\epsilon^*$  от влажности пород зоны аэрации.

На рис. 4,а приведена зависимость диэлектрической проницаемости от содержания глинистых частиц в породе (частиц диаметром менее 0,005 мм). Измерения диэлектрической проницаемости проводились на частоте 43 мгц. Целесообразность привлечения такого параметра, как диэлектрическая проницаемость, для оценки глинистости и литологического расчленения терригенных пород, определяется тем, что на величину  $\epsilon$  минерализация поровой влаги практически не оказывает влияния.

Диэлектрическая проницаемость тесно связана со степенью водонасыщенности горных пород. Диэлектрическая проницаемость основных породообразующих минералов не превышает 10 отн. ед., в то время как  $\epsilon$  воды равна 81 отн. ед. Поэтому любое изменение содержания воды в порах и трещинах горной породы весьма существенно сказывается на суммарной диэлектрической проницаемости. На рис. 4, б приведена зависимость диэлектрической проницаемости от весовой влажности, полученная по результатам измерения ВДК в сухих скважинах в условиях естественного залегания пород. Зависимость носит линейный характер и определяется выражением  $\epsilon = 3,2 + 1,1 W$ . Коэффициент корреляции 0,96 при числе исходных данных  $N = 80$ .

Сведения о влажности пород необходимы не только для характеристики водного режима зоны аэрации. Они используются и при построении зависимостей удельного сопротивления от засоленности пород зоны аэрации и интерпретации площадных данных. В этом случае строится серия зависимостей  $\rho$  от  $C$  при определенных значениях влажности пород. Например, зависимость удельного сопротивления от общей засоленности пород, приведенная на рис. 2, получена при влажности около 15%. Чем меньше диапазон возможного изменения влажности, тем выше точность определения степени засоленности пород. Удельное сопротивление определялось по результатам ВКП на частоте 3,3 мгц. Здесь же приведена зависимость удельного сопротивления от засоленности  $C$ , полученная по результатам интерпретации параметрических кривых ВЭЗ для средних суглинков с влажностью, близкой к 15%. Обе зависимости близки друг к другу. Это свидетельствует о возможности распространения зависимостей, полученных в процессе скважинных исследований, на результаты наземных измерений.

Применение такой методики возможно не только при гидрометеорологических съемках, но и при иных инженерно-геологических исследованиях, в частности, при изучении оползней. В этом случае совместное проведение скважинных, околоскважинных (методом заряженного тела) и наземных измерений позволяет получить наиболее полную информацию о физическом состоянии и геологическом строении оползней.

Таким образом, достигается значительное сокращение объема инженерно-геологического опробования, повышение информативности съемок и, в целом, удешевление стоимости работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Даев Д. С. Высокочастотные электромагнитные методы исследования скважин. М., «Недра», 1974.
2. Даев Д. С., Зинченко В. С., Черняк Г. Я., Шарапанов Н. Н. Определение влажности пород и расчленение разрезов гидрогеологических скважин по результатам волнового диэлектрического каротажа.—«Изв. вузов. Сер. геология и разведка», № 5, 1975.
3. Шарапанов Н. Н., Черняк Г. Я. Рациональный комплекс полевых геофизических методов исследований при гидрогеологических и инженерно-геологических съемках масштаба 1:50 000 для целей мелиорации (оошения) земель. ВСЕГИНГЕО, 1974.
4. Судоплатов А. Д., Шагаев М. М. Некоторые особенности составления гидрогеологических карт по данным ВЭЗ.—«Сб. науч.-техн. статей по гидрогеологии и инженерной геологии Средней Азии». Ташкент, «Наука», 1971.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
От института . . . . .	5
<b>I. Вопросы общего характера</b>	
<i>А. Г. Тархов.</i> К современному состоянию подземной геофизики . . . . .	7
<i>И. Г. Магакьян.</i> Рудные месторождения Армянской ССР и роль геофизики в их поисках и разведке . . . . .	12
<i>В. Р. Этингер, Л. Д. Козлова.</i> Рудничная геофизика на эксплуатируемых месторождениях цветной металлургии . . . . .	18
<i>С. Ф. Федоров, Л. И. Вознесенский, М. В. Макеев, А. П. Савицкий, Б. Н. Тихонов, И. Б. Хургин.</i> Применение подземной геофизики на этапе доразведки и эксплуатации месторождений черных металлов . . . . .	21
<i>С. М. Скорняков, А. Г. Тархов.</i> Объемное представление геофизических полей рудных месторождений . . . . .	26
<i>А. Г. Тархов, В. М. Бондаренко, С. М. Скорняков.</i> Подземная геофизика при оптимизации систем разведки . . . . .	33
<i>В. М. Степанов, Л. А. Стенин.</i> К методике определения экономической эффективности геофизических исследований на стадии эксплуатационной разведки рудных месторождений . . . . .	38
<b>II. Совершенствование отдельных методов</b>	
<i>А. А. Мухаметшин, А. Н. Бахвалов.</i> Подземная магниторазведка . . . . .	44
<i>Л. С. Прицкер, Ю. А. Бутузов, З. Е. Случанко, В. И. Шадхин, Р. С. Челокьян, М. В. Цалюк, В. И. Пасник.</i> Межскважинное прозвучивание при разведке рудных месторождений . . . . .	47
<i>В. Ф. Лебедев, В. А. Князев, Н. К. Стрелов.</i> Примеры использования сейсмостанции СМПВ-2 для каротажа скважин и сеймопрозвучивания . . . . .	53
<i>В. С. Моисеев.</i> Математическое моделирование полей, используемых в методе заряда . . . . .	57
<i>Н. Р. Бурьян.</i> Об учете гравитационного влияния структур при выделении рудных аномалий в горных выработках . . . . .	60
<i>В. Б. Гамоян, С. В. Бадалян, Е. М. Лулечян.</i> Использование в геофизической разведке поляризационных полей, вызванных блуждающими токами . . . . .	66
<i>В. Е. Ланда.</i> О поисковых возможностях подземного варианта метода СДВ-радиокип . . . . .	72
<i>К. А. Батыргожин, Ю. В. Гришин.</i> Применение метода ДЭМП при промышленной разведке эксплуатируемых месторождений Зырянского района . . . . .	81
<i>В. Б. Гамоян.</i> О влиянии рельсов на характер распределения блуждающих токов . . . . .	84
<i>В. Б. Гамоян, С. В. Бадалян, Е. М. Лулечян.</i> Электрическое поле однородно-заряженных перекрещенных пластин . . . . .	91
<i>В. А. Меньшиков, В. И. Шибанов.</i> Корреляция пластов высокого электрического сопротивления . . . . .	95
<i>О. Н. Кутузов, М. О. Лахтионов, С. М. Скорняков, В. В. Суетнов.</i> О применении терморазведки на различные виды полезных ископаемых . . . . .	102
<i>С. С. Сардаров, В. В. Суетнов.</i> Теоретические основы нового способа геотермических поисков нефтяных залежей структурного типа . . . . .	105

### III. Комплексование

<i>В. М. Степанов.</i> Физико-геологические модели медных месторождений Среднего Урала как основа геофизических исследований	111
<i>В. М. Степанов.</i> Подземные геофизические исследования при поисках и разведке рудных тел эксплуатируемых медных месторождений Среднего Урала.	116
<i>В. Е. Ланда.</i> Подземная электроразведка на рудных месторождениях Восточного Забайкалья.	119
<i>В. Е. Михайлов, Н. Н. Кленчин, Б. А. Пономарев, Э. А. Трубов, В. М. Кузьмин, А. С. Верменичев.</i> Эффективность подземной геофизики на рудных месторождениях Северного Казахстана	126
<i>С. В. Бадалян, В. Б. Гамоян, В. М. Геворкян, Р. В. Овсепян, Г. В. Арутюнян, Ф. М. Фиданян, З. В. Гарибян.</i> Применение методов подземной геофизики на месторождениях меди Армянской ССР	135
<i>П. Д. Рябинов, А. В. Печерский, Е. Б. Фейгин.</i> Подземная геофизика на железорудных месторождениях Красноярского края	145
<i>Ю. В. Гришин, К. А. Батыргожин.</i> Опыт применения подземной геофизики на эксплуатируемых месторождениях рудного Алтая	150
<i>А. С. Гирев, А. Л. Корнилов.</i> Подземная геофизика на полиметаллических месторождениях Северного Таджикистана	154
<i>А. Н. Авдонин, М. Г. Карымов, А. Е. Медведев, Н. Н. Музюкина, Н. Л. Шилко.</i> Оценка масштабов магнетитовых месторождений комплексом полевых и подземных геофизических методов	162
<i>Ю. З. Халин, К. А. Батыргожин.</i> Применение электроразведки с целью детализации контуров отработки руд в карьерах	179
<i>П. В. Вишнеvский.</i> Подземная геофизика при поисках и разведке нерудных полезных ископаемых	186
<i>Н. Н. Шарпанов, А. Д. Судоплатов, В. С. Зинченко.</i> Опыт комплексного применения полевой и подземной геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии	189

### ПОДЗЕМНАЯ ГЕОФИЗИКА ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Редактор издательства *Г. А. Абрамян*  
 Худ. редактор *Г. Н. Горцакалян*  
 Художник *К. К. Кафадарян*  
 Тех. редактор *А. М. Манучарян*  
 Корректор *М. С. Карапетян*

ИБ № 514

Сдано в набор 30.06. 1982 г. Подписано к печати 17.02. 1983 г. ВФ 05221 Формат 70×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. № 1. Шрифт «Литературный», высок. печать. Печ. л. 12,25. Усл. печ. л. 17,15. Учетно-изд. л. 15,75. Тираж 950. Заказ № 617. Изд. № 5786.

Цена 2 р. 35 к.

Издательство АН Арм. ССР, 375019, Ереван, ул. Барекаmutян, 24-г.  
 Типография Издательства АН Арм. ССР, 378310, г. Эчмиадзин.

