

С. В. БАДАЛЯН, Г. О. ГАЗАРЯН
В. Б. ГАМОЯН

ПОДЗЕМНАЯ
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА
НА РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
АРМЕНИИ

ЕРЕВАН

Հ Ա Յ Կ Ա Կ Ա Ն Ս Ս Հ Գ Ի Տ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն Ն Ե Ր Ի Ա Կ Ա Դ Ե Մ Ի Ա
Ա Շ Խ Ա Տ Ա Ն Ք Ա Յ Ի Ն Կ Ա Ր Մ Ի Ր Դ Ի Ո Շ Ի Շ Ք Ա Ն Շ Ա Ն Ա Կ Ի Ր Գ Ե Ո Յ Ի Զ Ի Կ Ա Տ Ի Ե Վ
Ի Ն Ժ Ե Ն Ե Ր Ա Յ Ի Ն Ս Ե Յ Ս Մ Ո Ղ Գ Ի Ա Յ Ի Ի Ն Ս Տ Ի Տ Ո Ւ Տ

Ս. Վ. ԲԱԴԱԼՅԱՆ, Գ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ,
Վ. Բ. ԳՍՄՈՅԱՆ

Ը Ն Դ Գ Ե Տ Ն Յ Ա
Է Լ Ե Կ Տ Ր Ա Հ Ե Տ Ա Խ Ո Ւ Զ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն Ը
Հ Ա Յ Ա Ս Տ Ա Ն Ի
Մ Ե Տ Ա Ղ Ա Յ Ի Ն Հ Ա Ն Ք Ա Վ Ա Յ Ր Ե Ր Ո Ւ Մ

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ И ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ

С. В. БАДАЛЯН, Г. О. ГАЗАРЯН,
В. Б. ГАМОЯН

ПОДЗЕМНАЯ
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА НА РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
АРМЕНИИ

19582

ИЗДАТЕЛЬСТВО АН АРМЯНСКОЙ ССР
ЕРЕВАН

1980



Ответственный редактор

доктор физико-математических наук, профессор А. Г. ТАРХОВ

Книгу рекомендовали к печати рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук Ц. Г. АКОПЯН,

кандидат геолого-минералогических наук Г. М. ВАНЦЯН

Бадалян С. В. и др.

Б 15 Подземная электроразведка на рудных месторождениях Армении./С. В. Бадалян, Г. О. Газарян, В. Б. Гамоян; отв. ред. А. Г. Тархов.—Ер.: Изд-во АН АрмССР, 1980.—222 с.

В книге рассмотрены методы подземной электроразведки — естественного поля (ЕП), блуждающего тока (БТ), вызванной поляризации (ВП) и сверхдлинноволнового варианта метода радиокип (СДВ-радиокип), получившие дальнейшее развитие в работах Института геофизики и инженерной сейсмологии (ИГИС) Академии наук Армянской ССР. Даны физические основы этих методов, кратко описаны аппаратура, методика измерений и интерпретации получаемых данных, а также результаты опробования методов при решении поисково-разведочных задач на рудных месторождениях Армянской ССР.

Монография предназначена для геофизиков и геологов, а также может быть полезна студентам геологоразведочных факультетов, особенно специализирующимся в области рудной геофизики.

Б $\frac{1904050000}{703(02)-80}$ 89—79

© Издательство АН Арм. ССР. 1980.

553(с43)
ББК26.325(2Ар)

ВВЕДЕНИЕ

Директивы XXV съезда КПСС ставят перед геологоразведочными организациями задачу увеличения добычи полезных ископаемых, в основном, в экономически освоенных районах Союза, что сокращает расход средств на капитальные вложения. В связи с этим во всю ширь ставится проблема поисков и разведки глубокозалегающих рудных объектов. Это вызвано тем обстоятельством, что в издавна известных районах запасы рудного сырья, находившиеся близ поверхности земли, не только разведаны, но в некоторых районах уже полностью выработаны. Поэтому все дальнейшие перспективы прироста запасов приходится связывать с обнаружением рудных объектов, залегающих на больших глубинах. Как показала практика, решение этой задачи может быть осуществлено комплексными геолого-геофизическими исследованиями.

Существующие геофизические методы исследований с поверхности земли часто не позволяют обнаружить геологические объекты, находящиеся на большой глубине, вследствие незначительной величины создаваемых ими аномалий.

Возможными путями увеличения глубинности геофизических методов разведки являются: повышение чувствительности геофизической аппаратуры с одновременным применением новейших способов обработки геофизических данных, внедрение в практику геологоразведочных работ подземной геофизики и некоторые другие.

Увеличение глубинности исследований путем повышения чувствительности геофизической аппаратуры нередко оказывается невозможным из-за большого влияния искажающих физическое поле помех (рельефа видимого и погребенного, неоднородностей в наносах, коры выветривания, блуждающих токов и т. п.). Поэтому в последние годы успешно развивается одна из отраслей геофизических исследований, получившая название подземной геофизики [133], которая характерна тем, что геофизические наблюдения проводятся в горных выработках и скважинах. Это позволяет приблизиться к возмущающим объектам, залегающим на больших глубинах и недоступным при наблюдениях с дневной поверхности, повысить аномальный эффект, уменьшить влияние поверхностных неоднородностей.

В подземных вариантах могут быть применены почти все существующие геофизические методы, используемые при разведке с поверхности земли. Однако из-за специфики производства геофизических работ в действующих рудниках и шахтах выдвигается задача разработки новой аппаратуры, методики и техники работ и особых приемов интерпретации результатов наблюдений.

За последнее десятилетие наибольшее развитие в подземной геофизике получили следующие методы: радиоволновой, подземной регистрации космического излучения, гравиразведка, терморазведка, магниторазведка, сейсморазведка и некоторые другие [133].

Дальнейшее развитие подземной геофизики осуществляется в двух направлениях: усовершенствование существующих методов, а также изучение возможностей применения в подземных условиях ранее не использовавшихся методов и модификаций [133]. Еще в большей степени важна проблема комплексного их использования в совокупности с геологическими, геохимическими и техническими методами поисков и разведки. Именно последнее и является основной задачей повышения эффективности поисково-разведочных работ на действующих предприятиях.

Среди разных физических полей, использование которых возможно в подземных горных выработках и скважинах, внимание привлекают естественные электрические поля. Эти поля позволяют изучать распределение рудного вещества в пределах месторождений. К тому же они измеряются с помощью простой аппаратуры и не требуют для своего исследования больших затрат. Поэтому разработка подземного варианта метода естественного поля (ЕП) имеет важное практическое значение.

По мере развития технологии обогащения рудного сырья промышленность все больше использует руды с низким содержанием полезного компонента. Рудные тела в этом случае часто представлены прожилковым, прожилково-вкрапленным и вкрапленным оруденением. Как показала практика геофизических исследований, немаловажную роль на таких рудах играет метод вызванной поляризации (ВП), различные модификации которого позволяют выявить рудные тела и определить элементы их залегания. Поэтому применение метода ВП в подземных условиях может иметь практическое значение для решения задач геологоразведки и разработки рудных месторождений.

В высокочастотной электроразведке особое место занимает метод радиокип [130], использующий главным образом поля сверхдлинноволновых радиостанций, работающих в диапазоне частот 10—30 кгц. Метод СДВ-радиокип позволяет с небольшими затратами средств и времени проводить геологосъемочные и поисковые работы. Ввиду большой глубины проникновения сверхдлинных радиоволн в горные породы метод может быть успешно применен также и в подземных условиях, что намного расширяет его возможности. Разработка и применение метода в подземных условиях привлекает простотой съемки, несложностью аппаратуры и способов интерпретации.

Как известно, на действующих рудниках наблюдаются интенсивные промышленные электрические помехи или блуждающие токи (БТ), которые часто затрудняют применение различных электроразведочных методов. Одновременно с расширением технической вооруженности рудников наличие блуждающих токов на территории разрабатываемых месторождений становится обычным явлением. Отсюда, естественно, возникла мысль об использовании промышленных электрических полей в подземных горных выработках с целью поисков и разведки полезных ископаемых.

В разработке подземных электроразведочных методов наряду с другими союзными организациями активное участие принимает Институт геофизики и инженерной сейсмологии (ИГИС) АН Арм. ССР. Следует также отметить, что подземными геофизическими исследованиями в Армении помимо ИГИС плодотворно занимаются геофизики Управления геологии и Производственного геологоразведочного треста Управления цветной металлургии СМ Арм. ССР.

Разработке и опробованию методов ЕП, ВП, БТ и СВД-радиокип применительно к подземным условиям и посвящена настоящая монография.

Монография состоит из введения, пяти глав и заключения. Введение, заключение и глава 5 написаны С. В. Бадаляном, Г. О. Газаряном и В. Б. Гамояном, глава 1 и 3 — В. Б. Гамояном, глава 2 — С. В. Бадаляном и глава 4 — Г. О. Газаряном.

При написании книги авторы пользовались ценными советами кандидата геолого-минералогических наук, доцента Ереванского государственного университета Г. М. Ванцяна.

Авторы с благодарностью учтут все замечания и предложения читателей, которые просят направлять по адресу: 377500, г. Ленинакан, ул. Ленинградская, 5, ИГИС.

ГЛАВА I

МЕТОД ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

К числу первых исследований, отметивших наличие естественных земных электрических полей на рудных месторождениях, относятся работы английского ученого Р. В. Фокса, проведенные в 1830 г. на медных рудниках Корнуэлса [165]. Дальнейшие исследования были направлены на изучение особенностей естественных электрических полей главным образом на поверхности земли. В начале XX в. К. Шлюмберже [152, 174] установил непосредственную связь полей с сульфидными рудными телами и выдвинул предложение об их использовании при геологических поисках и разведке.

За последние 50 лет метод естественного поля получил широкое развитие и стал одним из ведущих в рудной геофизике. Одновременно расширились знания о естественных электрических полях, связанных с рудными и другими геологическими объектами. А. А. Петровским [89, 90], В. Н. Дахновым [54], А. С. Семеновым [118, 119], А. Г. Тарховым [124] и другими исследователями [32, 120, 167] была дана классификация разных видов полей, связанных с электронными природными проводниками (сульфидные, графитовые и иные тела), а также фильтрационных, теллурических, диффузионных и др.

А. А. Петровским [89, 90] и другими учеными были разработаны теоретические основы метода ЕП, методика и техника наблюдений и способы интерпретации полевых данных. Особое внимание многих исследователей было обращено на условия возникновения естественных электрических полей. Среди них следует отметить работу Г. Б. Свешникова [113], в которой описывается природа естественных электрических полей и уточняется характеристика условий и факторов, обуславливающих появление естественных электрических полей рудного происхождения.

Накопленный богатый материал по применению метода ЕП в рудных районах был обобщен рядом исследователей: А. В. Бухникашвили [28, 29], Ю. С. Рыссом [105—108], А. К. Аузином [5], К. Катаяси [166] и др. Эти работы в конечном итоге позволили сформулировать основные особенности естественных электрических полей рудных месторождений и охарактеризовать область применения метода при поисках и разведке.

Идея подземных наблюдений естественного электрического поля впервые была высказана А. Г. Тарховым [132]. В конце 50-х гг. Ю. С. Рыссом и А. С. Тясто [109] было начато систематическое изучение объемной структуры естественного поля с помощью наблюдений в скважинах. Исследования привели к созданию скважинного варианта метода естественного поля, получившего широкое применение при поисках и разведке глубинных рудных месторождений. Это направление полу-

чило дальнейшее развитие в трудах Ю. А. Калашникова [65], Е. Б. Рыбальченко [102] и др.

Применение скважинного варианта метода ЕП намного расширило его возможности при выявлении и локализации рудных объектов в блоках пород, характеристики протяженности руд на глубину и т. п. В частности, оказалось возможным поставить вопрос о целесообразности использования метода также при обследовании окрестностей подземных горных выработок и скважин подземного бурения (вертикальных, наклонных, горизонтальных).

До недавнего времени причиной осторожного подхода к использованию естественных электрических полей на рудниках являлось наличие отрицательного влияния специфических рудничных условий, к которым в частности относятся: высокая влажность в выработках, обуславливающая утечки в аппаратуре и проводах, влияние рельсов и других металлоконструкций, создающих собственные электрические поля, технические трудности в увязке наблюдений, отрицательная роль фильтрационных явлений, мешающее влияние блуждающих токов и т. д. Вместе с тем наблюдения естественных полей, проведенные Ю. С. Рыссом на некоторых месторождениях Рудного Алтая, показали возможность установления наличия и положения рудных тел за пределами выработок и оценки их протяженности на глубину по изученной структуре поля. К таким же выводам можно прийти, рассматривая данные, полученные Х. Милитцером [168] и К. Шибатто [175] при изучении вертикального распределения потенциала естественного поля вокруг месторождений. Однако исследованные особенности полей на рудных месторождениях характеризуют их в общем виде. Фактически структура поля весьма сложна, зависит от распределения рудного вещества и представляет собой сумму многих локальных полей. Изучение этого вопроса является очень важным при использовании естественных полей на действующих рудниках с целью решения практических задач по прослеживанию отдельных рудных тел, выявлению новых залежей в окрестностях выработок и т. п.

К числу наиболее существенных помех при наблюдении естественного электрического поля относятся промышленные электрические поля от различных рудничных электрических установок, а также от транспортных средств, работающих на электрической тяге от общей контактной сети. Как в горных выработках, так и на поверхности земли от указанных источников в пределах рудника и его окрестностей развиваются промышленные блуждающие токи, которые вносят значительные помехи в естественные электрические поля. Вместе с тем блуждающие токи, попадая в горные породы, распространяются в них, подчиняясь распределению электрических свойств пород и руд. Благодаря этому само по себе изучение промышленных токов в окрестностях месторождений и в пределах выработок может служить источником информации о наличии и положении электропроводящих рудных тел среди менее проводящих горных пород, а также для характеристики размещения пород с разным удельным электрическим сопротивлением. Тем самым то, что является помехой при изучении естественных полей, может явиться средством практического применения. Этот вопрос рассматривается в главе 3.

1. 1. ОСОБЕННОСТИ НАБЛЮДЕНИЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ В ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТКАХ И СКВАЖИНАХ ПОДЗЕМНОГО БУРЕНИЯ

Условия наблюдений естественных полей в подземных выработках.

Изучение естественных полей в подземных горных выработках имеет свою специфику, связанную с условиями измерений. Сюда относятся:

а) перенос точек наблюдения в подземные горные выработки обеспечивает приближение к искомым объектам, что в свою очередь приводит к возрастанию величины аномалий, а следовательно, и к увеличению возможностей метода при поисках и прослеживании рудных объектов, расположенных на глубоких горизонтах;

б) наличие подземных горных выработок и скважин, располагающихся на различных горизонтах и в разных плоскостях, позволяет проводить объемное изучение структуры естественных полей в пространстве вокруг отдельных рудных объектов и рудного месторождения в целом;

в) высокая влажность пород в подземных выработках, с одной стороны, улучшает условия заземления приемных электродов при наблюдении естественных полей, но с другой — приводит к возрастанию погрешностей из-за возможных утечек;

г) кислород, содержащийся в воздушном пространстве горных выработок, непосредственно или через водные растворы проникает в окружающую среду и способствует усилению электрохимических процессов. При расположении горных выработок на верхних горизонтах месторождения наблюдается повышение интенсивности естественных полей, а на нижних горизонтах — понижение;

д) проходка подземных горных выработок буровзрывными работами увеличивает трещиноватость окружающих пород. В связи с этим на ослабленных участках усиливается фильтрация подземных вод, приводящая к изменению фильтрационных полей, являющихся помехой;

е) имеющиеся выработки и камеры понижают уровень грунтовых вод, что также изменяет структуру естественного поля. Для вертикально протяженных рудных тел это служит фактором усиления интенсивности поля, а для небольших рудных тел — фактором либо усиления (когда уровень грунтовых вод пересекает рудный объект), либо снижения интенсивности (когда уровень грунтовых вод проходит выше или ниже объекта). В общем случае за счет изменения уровня вод изменяются интенсивность и структура естественного поля. В одних случаях рассмотренные изменения увеличивают четкость проявления и интенсивность естественных полей, а в других случаях, наоборот, ослабляют их;

ж) в подземных горных выработках действующих рудников, расположенных вблизи промышленных центров и электрифицированных железных дорог, блуждающие токи имеют высокую интенсивность и распространяются на большие расстояния. На рудниках, где транспортировка руд и пород осуществляется контактными электровозами, основными источниками блуждающих токов являются транспортные горные выработки. Блуждающие токи от транспортных выработок распространяются на большие расстояния, примерно до 5 км. Их интенсивность и структура поля при транспортировке руд и пород резко меняется как во времени, так и в пространстве [45]. Поэтому они являются источниками серьезных помех при изучении естественных полей и требуют особого учета;

з) воздушное пространство горной выработки обладает практически бесконечным электрическим сопротивлением. За счет этого характер распределения естественных полей в пространстве меняется по сравнению с тем, который существует без выработок. Изменения сводятся к увеличению интенсивности аномалий естественных полей вдоль стенок выработки, обращенных в сторону рудных объектов и к ослаблению их у противоположных стенок;

и) в подземных горных выработках имеется металлическое оборудование (рельсы, водо- и воздухопроводные трубы, машины и уста-

новки), находящееся в контакте с окружающей средой. В результате электрохимических процессов, протекающих между металлическими конструкциями и окружающей ионной средой, образуются электрические поля, сходные с рудными, которые являются помехой и требуют специального учета.

Из перечисленных факторов и условий, характерных для горных выработок, некоторые, как приближение точек наблюдения к искомым объектам и пространственное расположение горных выработок, являются благоприятными при наблюдении естественного поля. Они способствуют усилению наблюдаемого сигнала и делают возможным изучение объемного распределения естественных полей и их источников (рудных объектов).

Вторая группа факторов, в которую входят влияние выработок как проводников кислорода и изменение уровня грунтовых вод, воздействует на структуру и интенсивность существующих естественных полей, но, как правило, не искажает самого наблюдаемого сигнала. Вопрос о роли указанных факторов весьма сложен, и пока нет ясных путей для его изучения.

Третья группа факторов, представленная полями промышленных токов, фильтрацией вод, металлическими конструкциями и т. д., является прямой помехой при выявлении рудных полей. Их изучение и учет наиболее важны для практического применения метода естественного поля при решении задач геологической разведки.

Наши исследования промышленных токов не привели к какому-либо надежному техническому приему, позволяющему учитывать указанные поля. Однако длительные наблюдения за распределением блуждающих токов и режимами работы промышленных установок показали, что на каждом из исследованных месторождений существуют периоды, когда те или иные установки отключены и на соответствующем участке месторождения промышленные помехи отсутствуют. Длительность этих периодов колеблется от 2-х до 16 часов, чего вполне достаточно для исследования заранее подготовленных выработок. Это позволяет, зная режим работы установок и не нарушая ритма промышленного предприятия, обеспечить планомерное обследование горных выработок без излишних простоев предприятия. Такой учет влияния промышленных помех на некоторых месторождениях уже дал положительные результаты.

Фильтрационные поля в подземных горных выработках. Фильтрационные электрические поля связаны с движением подземных вод в породах. Подземные воды образуются от атмосферных осадков, путем их просачивания через поры и системы трещин различных генетических типов. Количество просачивающихся подземных вод и величина потенциала фильтрационных полей определяются рядом природных факторов.

Связанные с конкретными гидрогеологическими условиями воды в подземных выработках проявляются в виде струй, частых и редких капелей, стока и накоплений. Все виды водопроявлений, кроме накопления, отмечаются на участках контактов различных пород, в зонах тектонических нарушений, разломов и трещиноватости пород. Интенсивность фильтрации и размеры водных проявлений в подземных выработках изменяются в больших пределах и определяются коэффициентом пористости и трещиноватости пород, размерами тектонических нарушений и разломов. Водопроявления в виде струй в горных выработках встречаются от слабо заметного стока до фонтанирующего родника с дебитом в несколько кубических метров в час, а водные капели — от редкого капеза до интенсивного просачивания воды, охватывающего десятки квадратных метров.

Часть подземной воды, поступающей в горизонтальные выработки, по канавам стекает к стволу шахт или вытекает по штольням на поверхность земли, а другая часть просачивается вниз. Интенсивность просачивания определяется как пористостью самих пород, так и количеством воды, имеющейся в подземной выработке. При наличии водного накопления особенно интенсивная фильтрация отмечается на участках нарушений, разломов и трещиноватости пород [58].

С учетом рассмотренных условий и причин образования фильтрации исследования по изучению фильтрационных полей в подземных горных выработках проводились для разных типов источников на различных месторождениях Армении: Ахталъском, Шамлугском, Дастакертском, Зодском и Кафанском, при различных геологических условиях и других факторах, влияющих на фильтрационные поля.

Гидрогеологические условия на перечисленных месторождениях более или менее одинаковы. Вмещающие породы сложены плотными трещиноватыми вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями. Рельеф участков месторождений характеризуется отвесными склонами с густой дренажной сетью многочисленных оврагов и ущелий. Мощность рыхлых отложений достигает нескольких метров. На месторождениях имеется большое число дизъюнктивных нарушений. Некоторая небольшая часть их обнажается на современном эрозионном срезе и пересекается горными выработками. Тем самым на отдельных участках создаются благоприятные условия для просачивания метеорных и трещинно-грунтовых вод в горные выработки. Вместе с тем резко расчлененный рельеф и небольшая мощность рыхлых отложений ограничивают просачивание атмосферных осадков в глубь горных пород [58]. В результате поверхностный сток преобладает над фильтрацией. В связи с этим обводненность горных выработок относительно невелика и приурочена к зонам тектонических нарушений.

На Ахталъском месторождении водопроявления в виде частого капежа, накоплен и стока, связанные с зонами нарушений, зафиксированы в различных его выработках. На участках водопроявлений проведены наблюдения потенциала фильтрации по подошве и стенкам выработок.

Водопроявления в виде сплошных струй и частого капежа, связанные с меридиональным разломом, зафиксированы в интервалах пикетов 38—41, 142—150, 243—246 штольни 7, проходящей вдоль полиметаллической рудной линзы 11 на небольшом расстоянии от нее (рис. 1.1,а). По штольне отмечается естественное поле, соответствующее положению и геометрическим размерам линзы. На интервалах фильтрации кривая потенциала ЕП не осложнена заметными локальными аномалиями, что свидетельствует об отсутствии интенсивных фильтрационных полей, связанных с указанными водопроявлениями. Общая минерализация вод на этих участках составляет 2200—2950 мг/л. В интервалах пикетов 0-65 и 0-50, соответственно, штреков 4 и 17 горизонта штольни 7 (рис. 1.2) зафиксированы водные накопления с максимальной глубиной 50 см. Они образовались за счет вод, притекающих по канавам. На указанных интервалах выработки пересекают тектонические нарушения, не обнажающиеся на поверхности земли, которые и способствуют интенсивному просачиванию вод из горной выработки. Наблюдения потенциала естественного поля здесь проводились по стенкам выработок на 5—10 см выше уровня накопленных вод при наличии воды и после ее откачки. В штреке 17, на участке водного накопления, значение потенциала в интервале тектонических нарушений достигает —80 мв. Кривая, полученная на данном интервале после откачки воды, характеризуется положитель-

ными значениями потенциала, достигающими 20 мв. Разность экстремальных значений кривых, отнаблюденных при наличии и отсутствии водного накопления (-80 и $+20$ мв), составляет 100 мв, что, по всей вероятности, соответствует истинному значению потенциала фильтрации в данном месте. В штреке 4 на участке водного накопления (пк

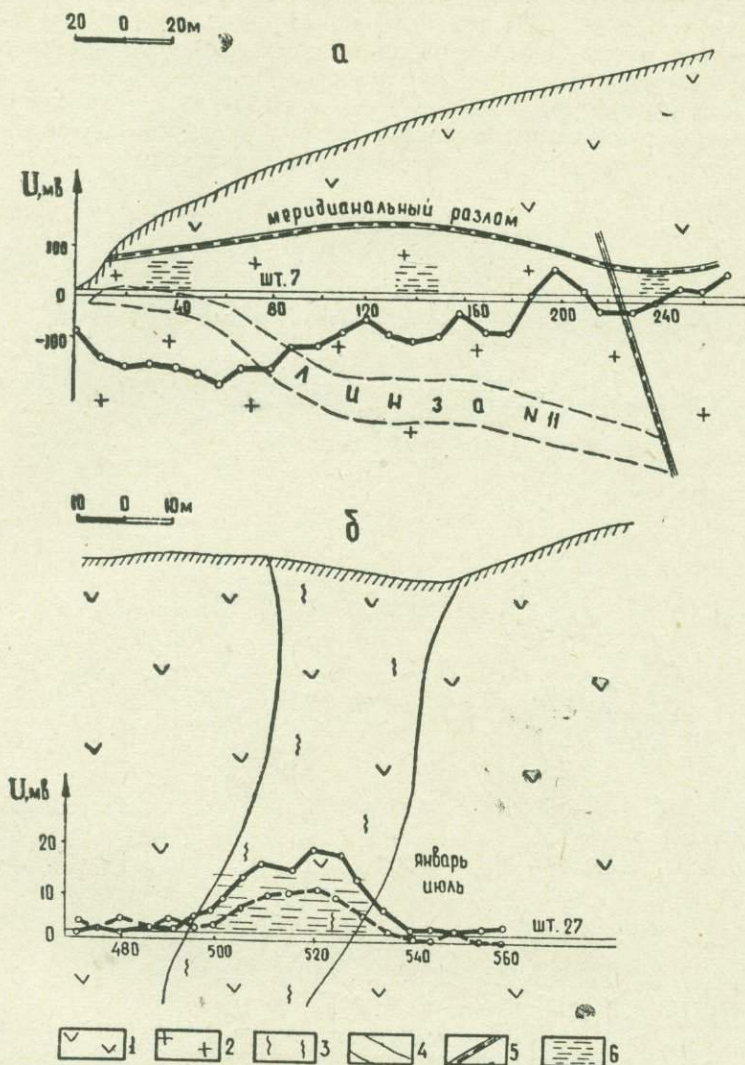


Рис. 1. 1. Геологические разрезы и кривые потенциала естественных полей, снятые по штольням 7 и 27 Ахтальского барит-полиметаллического месторождения.

1—порфириты; 2—кварц-порфириты; 3—трещиноватость пород; 4—контур полиметаллической рудной линзы 11; 5—тектонические нарушения; 6—обводненные участки.

0-65) отмечается отрицательная аномалия потенциала электрического поля, соответствующая размерам и расположению водного накопления. Интенсивная аномалия потенциала (до -60 мв) отмечается в зоне меридионального разлома, где водное накопление имело наиболь-

шую глубину (50 см). Сравнительно меньшей интенсивности (-55 мв) аномалия потенциала получена в районе 1 западного нарушения, где мощность слоя воды при минерализации 1900 мг/л составляла 5—10 см. Кривая, полученная на этом участке после дренажа воды, характеризуется положительным потенциалом 20—60 мв. Разность значений потенциалов, полученных при наличии воды и после ее откачки, составляла -50 — -115 мв, что, по всей вероятности, соответствует значению потенциала фильтрации, которое близко к значению потенциала, полученному по штреку 17.

Водные накопления с различной минерализацией и в различном количестве зафиксированы также и в других горных выработках, для которых было установлено отсутствие фильтрационных полей.

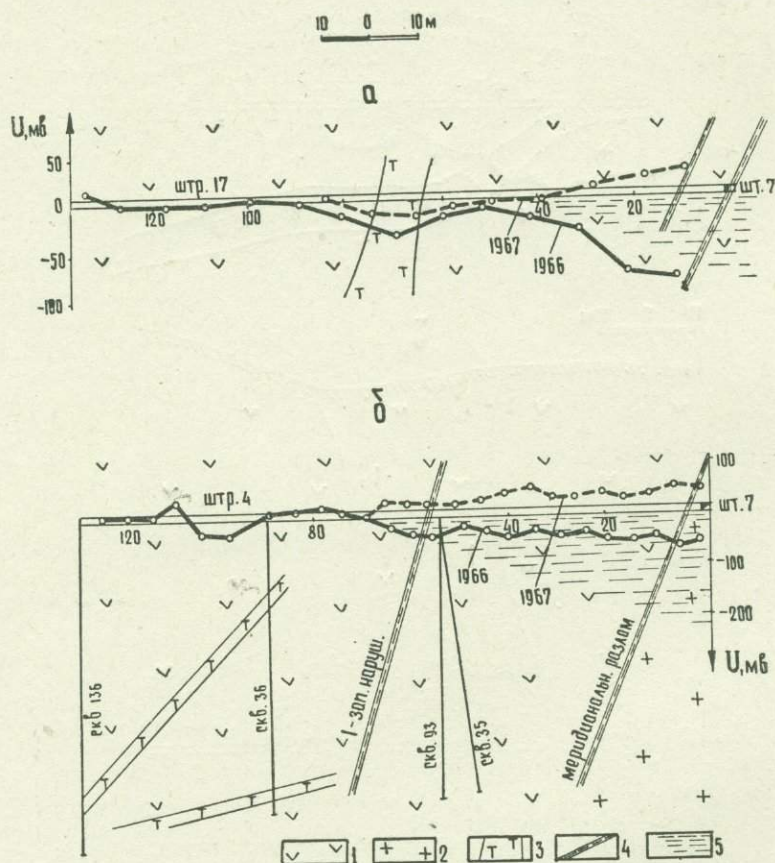


Рис. 1. 2. Геологические разрезы и кривые потенциала естественного поля, снятые в штреках 17 и 4 горизонта штольни 7 Ахтальского месторождения при наличии и отсутствии водного накопления.

1—порфириты; 2—кварц-порфириты; 3—дайки фельзит-порфиоров; 4—тектонические нарушения; 5—обводненные участки.

Водопроявление в виде сплошной струи и частого капеза, имеющее высокую интенсивность фильтрации и связанное с зоной трещиноватых пород с коэффициентом фильтрации 2,8 м/сутки, отмечено в интервале пикетов 495—535 штольни 27 (рис. 1.1,б). Минерализация подземных вод здесь составляла 665 мг/л.

Изменение потенциала естественного электрического поля на участке фильтрации, связанное с сезонами года, приведено на рис. 1.1,б.

Здесь представлены две кривые потенциала естественного поля, полученные в январе и июле 1968 г. В обоих случаях отмечаются положительные аномалии потенциала, соответствующие геометрическому расположению и размерам зоны трещиноватых порфириров. Величина потенциала электрического поля, наблюдаемая в июле, при наиболее интенсивной инфильтрации вод с кровли горной выработки, составляла +20 мв, а в январе, при наименьшей интенсивности фильтрации, — +10 мв.

Водопроявления в виде слабого стока и редкого капеза зафиксированы на многих выработках Ахтальского месторождения. Результаты проведенных наблюдений по методу ЕП свидетельствуют об отсутствии заметных фильтрационных полей, связанных с указанными водопроявлениями.

Полученные результаты исследований позволяют заключить, что на Ахтальском месторождении интенсивные фильтрационные поля с отрицательным потенциалом до -110 мв связаны лишь с водными накоплениями на участках тектонических нарушений и разломов. Фильтрационное поле с небольшим положительным потенциалом до +20 мв, зафиксированное лишь в районе сплошных струй и частого капеза в штольне 27, связано с зоной трещиноватых пород. Все остальные водопроявления сопровождаются слабыми фильтрационными полями в пределах ± 10 мв.

На Шамлугском месторождении исследования характера фильтрационных полей проводились по горизонтам штолен 33 и 36 (рис. 1.3), где общая минерализация подземных вод составляла 800—2950 мг/л.

Водопроявления в виде сплошных струй и частого капеза с общей минерализацией 1870 мг/л зафиксированы в интервале пикетов 40—75 штрека 1 штольни 33, проходящей по туфобрекчиям порфириров (рис. 1.3,а). Результаты наблюдения свидетельствуют об отсутствии заметного потенциала фильтрационного поля. Сплошные струи и капеза, зафиксированные также на многих участках штолен, не сопровождаются аномалиями потенциала фильтрации.

Водопроявление в виде накопления, образующееся за счет притока воды по канавке выработки, было зафиксировано в интервале пикетов 0—35 штольни 36. На этом интервале выработка пересекает разрушенные кератофиры, находящиеся в зоне выветривания. На рис. 1.3,б представлены геологический разрез и кривая потенциала естественного электрического поля, зафиксированная в штольне 36 и по наземному профилю, проходящему от устья штольни вниз по склону горы. Кривая потенциала ЕП характеризуется отрицательной аномалией с экстремальным значением потенциала -25 мв, полученным над просачивающимся из выработки водным накоплением. Размеры и расположение аномалии четко совпадают с расположением водного накопления.

На Шамлугском месторождении водные накопления зафиксированы также во многих выработках, проходящих по плотным порфирирам и туфобрекчиям порфириров, при различной минерализации вод. Результаты наблюдений методом ЕП, полученные на этих участках, свидетельствуют об отсутствии заметных электрических полей фильтрационного происхождения: наибольшая интенсивность аномалий не превышает 20 мв.

На другом месторождении — Дастакертском исследования по выявлению и изучению фильтрационных электрических полей, связанных с водопроявлениями в виде струй, капезей и накоплений, проводились в подземных горных выработках. На участках исследований общая минерализация рудничных вод составляла 400—850 мг/л. Водопроявление в виде струй с большим дебитом ($1,15$ м³/час) зафиксировано

но в горизонтальной скважине горизонта штольни «Новая». На рис. 1.4,а представлены геологический план и кривая потенциала естественного электрического поля по скважине, которая в интервале 41—53 м пересекает контакт ороговикованных порфиров с гранодиоритами. По данным геологической разведки установлено, что подземные воды в скважину поступают в районе этого контакта. Величина потенциала ЕП возрастает по направлению течения воды, что согласуется с теорией поля фильтрации [112]. Разность между экстремальными значениями потенциала, полученными на концах скважины (+110,

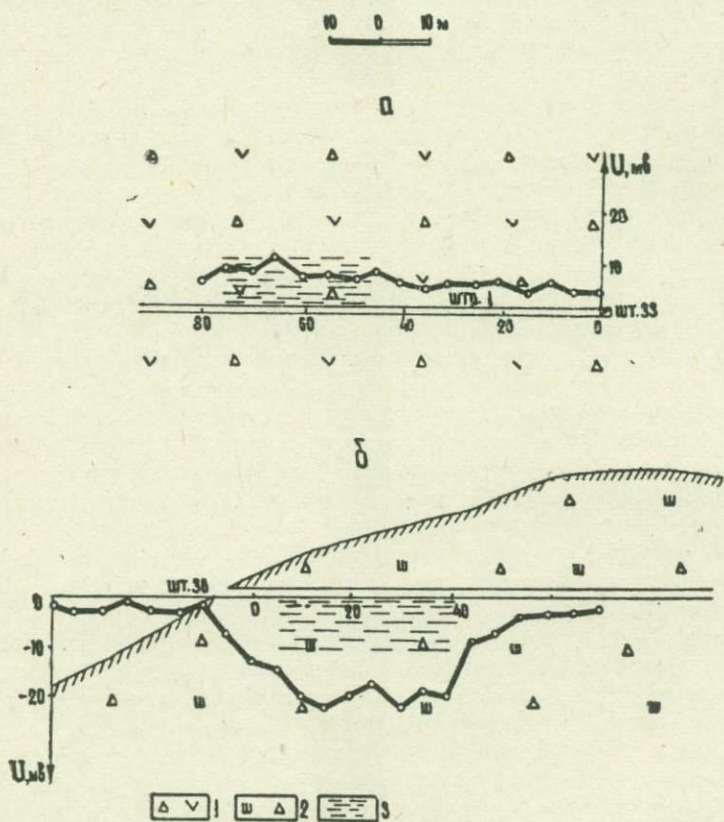


Рис. 1. 3. Геологические разрезы и результаты наблюдений методом ЕП по штолку 1 штольни 33 и по штольне 36 Шамлугского месторождения меди.

1—туфобрекчии порфиров; 2—кварцевые кератофиры; 3—водобильные участки.

—15 мв), составляет 125 мв. На фоне фильтрационного поля выделяется локальная отрицательная аномалия (пк 35—40 м), которая может быть приурочена к рудному пересечению.

Водопроявление в виде частого капеза и стока, имеющее высокую интенсивность, зафиксировано в интервале 10—25 м орта 1 горизонта штольни «Южная», где в центре водопроявления отмечена локальная аномалия с максимальным отклонением от величины потенциала общего поля на 10 мв (рис. 1.4,б).

Кроме рассмотренных примеров, водопроявления зафиксированы на многих участках подземных выработок Дастакертского месторож-

дения. Лишь некоторые из них с интенсивной фильтрацией, связанные с зонами тектонических нарушений, сопровождаются электрическими полями с низкими значениями потенциала.

Такие же исследования фильтрационных полей проводились и на других месторождениях. Так, например, на Зодском золоторудном месторождении водопроявления в виде сплошных струй и частого ка-

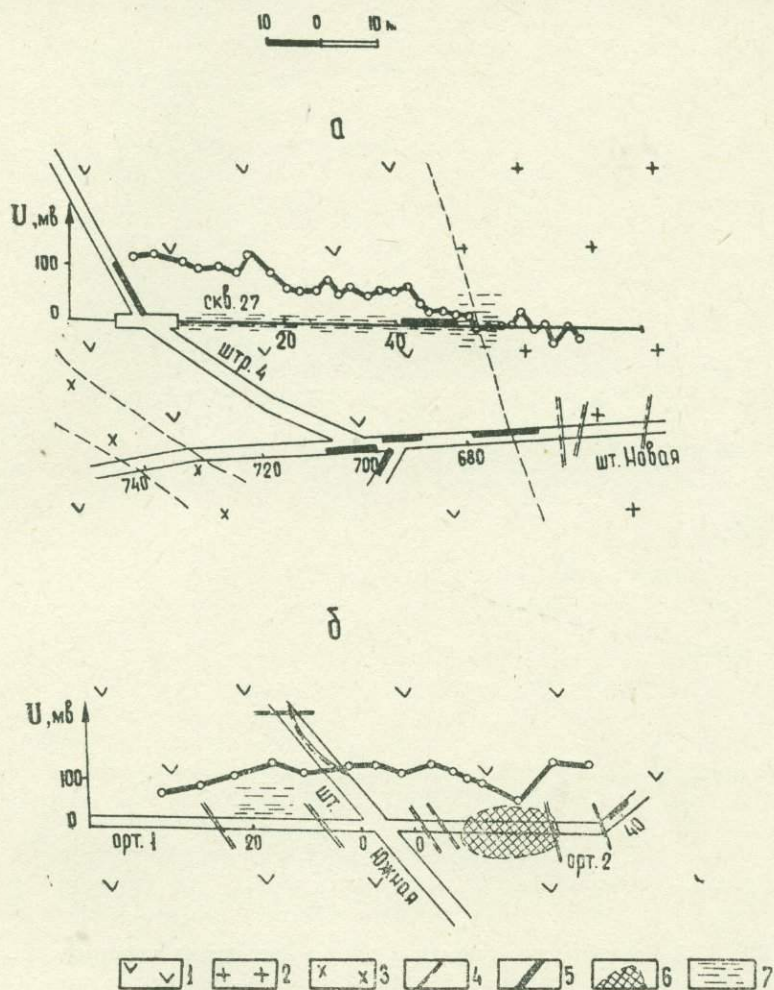


Рис. 1. 4. Геологические планы и результаты наблюдений методом ЭП по скважине 27 штольни «Новая» и ортам 1 и 2 горизонта штольни «Южная» Дастакертского медно-молибденового месторождения.

1—порфириты; 2—гранодиориты; 3—дайка диабаз-порфиров; 4—тектонические нарушения; 5—медномолибденовая руда; 6—предполагаемые рудные накопления; 7—водообильный участок.

пежа с высокой интенсивностью фильтрации зафиксированы в интервале 90—120 м штольни 5, где горная выработка пересекает трещиноватые породы габбро (рис. 1.5а). Общая минерализация воды в пробе, отобранной от водных струй, составляет 710 мг/л. Здесь отмечается локальная положительная аномалия, соответствующая размерам и геометрическому расположению водопроявления, с максимальным значением потенциала 25 мВ. Аномалия с отрицательным значением потен-

циала естественного поля до 20 мв получена также в интервале пикетов 320—355 штольни 40, где зафиксировано водное накопление с максимальной глубиной 35 см и с общей минерализацией вод 730 мг/л (рис. 1.56).

На Кафанском медно-полиметаллическом месторождении исследования по изучению интенсивности и характера фильтрационных полей

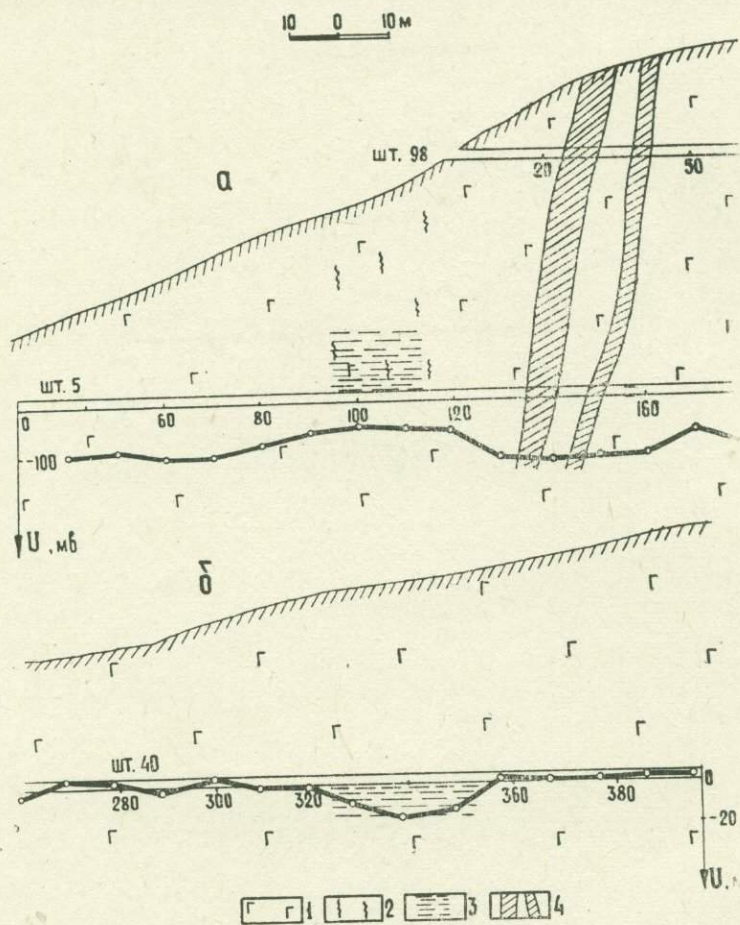


Рис. 1. 5. Геологические разрезы и кривые потенциала естественных полей, снятые по штольням 5 и 40 Зодского золоторудного месторождения.

1—габбро; 2—трещиноватость пород; 3—обводненные участки; 4—сульфидные рудные зоны.

проводились на горизонте штольни 4 Шаумянского участка. Водопроявления в виде капеей, стоков и накоплений зафиксированы в интервалах пикетов 185—195 и 230—280 (рис. 1.6). Здесь на фоне общего поля выделяются локальные отрицательные аномалии с размерами и расположением, соответствующими водопроявлениям. Максимальное отклонение кривой потенциала естественного поля по отношению к среднему в интервале 185—195 м составляет -50 мв, а в интервале 230—280 м -70 мв. Такое расхождение аномалий имеет прямую связь с интенсивностью фильтрации, поскольку в интервале 230—280 м, где штольня пересекает Тежасарский разлом, интенсивность фильтрации более высокая, чем в интервале 185—195 м.

Результаты исследований по изучению фильтрационных полей в подземных горных выработках месторождений, характеризующихся различным геологическим строением, типом оруденения и вещественным составом, позволяют сделать следующее заключение:

а) фильтрационные поля в подземных горных выработках и горизонтальных скважинах имеют ограниченное распространение и в за-

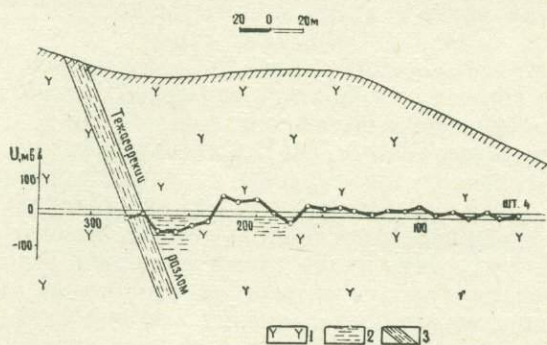


Рис. 1. 6. Геологический разрез и кривая потенциала естественного поля, снятая по шт. 4 Шаумянского участка Кафанского медно-полиметаллического месторождения.

1—кварцевые порфириты; 2—обводненные участки; 3—тектонический разлом.

метном виде проявляются лишь в районах интенсивной фильтрации, связанных с местами больших водных накоплений и тектонических нарушений и разломах;

б) потенциал фильтрационных полей обычно колеблется в пределах ± 20 мв и лишь в отдельных случаях достигает нескольких десятков мв;

в) водопроявления в виде накоплений, где воды просачиваются из горной выработки вниз, отмечаются отрицательным потенциалом, а водопроявления от капелей, струй и стоков, при которых воды накапливаются в горной выработке,—положительным, что соответствует теории потенциалов фильтрации [112, 124];

г) фильтрационные поля в подземных выработках по интенсивности обычно много меньше интенсивности рудных полей. В случае же их соизмеримости с интенсивностью рудных полей они могут быть учтены путем сопоставления положения аномалий с местоположением и характером водопроявления.

Естественные электрические поля, вызванные металлическим шахтнорудничным оборудованием. Металлические конструкции (рельсы, водо- и воздухопроводные трубы, обсадные трубы скважин и другое оборудование, имеющее в основном линейно-вытянутую форму), находящиеся в контакте с горной средой на разных участках горной выработки, а также в разных выработках и горизонтах месторождения, располагаются в породах различной увлажненности и минерализации подземных вод. Неодинаковы также условия контакта оборудования с окружающими породами.

Различие физико-химических условий на разных участках горных выработок обуславливает возникновение гальванических элементов, связанных с линейно-вытянутыми металлическими конструкциями. В зависимости от интенсивности этих гальванических элементов и геометрического размещения их полюсов меняется интенсивность и струк-

тура естественных электрических полей. Чем меньше длина металлических конструкций, тем меньше вероятность расположения их в разных физико-химических условиях и, следовательно, тем меньше интенсивность образующихся гальванических элементов и размеры объемного поля, обусловленного ими. Наоборот, чем больше длина металлической конструкции, тем больше возможностей для возникновения гальванического элемента с высокой интенсивностью и большими размерами объемного поля в окружающей среде.

Возникающее электрическое поле, обусловленное металлическим оборудованием в горных выработках, по своей природе аналогично естественным электрическим полям, связанным с природными электропроводящими рудными телами [45]. Следовательно, электрические поля металлических конструкций являются прямой помехой при выявлении и изучении полей рудного происхождения. Идентичность природы происхождения электрических полей железных конструкций и рудных тел не позволяет разделить их по этому признаку. По-видимому, действительным средством учета полей, обусловленных шахтно-рудничным оборудованием, будет выявление их особенностей и структуры в связи с наблюдаемым расположением металлических сооружений. Ниже приводятся результаты специальных наблюдений по определению характера распределения электрических полей вокруг оборудования, проведенных на разных месторождениях в различных геологических и гидрогеологических условиях, а также при разных размерах металлического оборудования.

На рис. 1.7 представлены результаты изучения естественных электрических полей, вызванных рельсами при различной их длине и разной степени увлажненности среды. Кривые потенциала ЕП получены по трем профилям, расположенным на различных расстояниях (2, 20 и 40 см) от рельса (рис. 1.7,а). Вмещающими породами здесь являются порфириды, имеющие небольшую влажность. Воды в выработке обладают кислой реакцией с общей минерализацией 1820 мг/л. Наибольшая аномалия потенциала ЕП отмечена на расстоянии 2 см от рельса (-35 мв), а наименьшая—на расстоянии 40 см, которой при полевых наблюдениях можно практически пренебречь. Помимо этого, здесь же, на рис. 1.7,б, приведены кривые потенциала ЕП по трем профилям, расположенным по подошве и стенке выработки, параллельно рельсу и на расстоянии 10, 40 и 130 см от него. Как и в предыдущем случае, наибольшее значение потенциала отмечено на двух профилях, близко расположенных к рельсу (10 и 40 см). По третьему профилю ($l = 130$ см) величина потенциала незначительна. Изменение потенциала ЕП вкрест простирания рельсов показано на рис. 1.7,в. Участок исследования представлен влажными порфиритами, причем в левой стороне, где расположена дренажная канава, влажность пород выше, чем в правой. Кривая потенциала по этому профилю характеризуется тремя отрицательными аномалиями. Аномалия в интервале пикетов 2,5—3, где среда менее влажная, имеет большое отклонение потенциала (-20 мв) и меньший размер, чем аномалия в интервале 0—15 (-17 мв), где влажность среды более высокая.

Исследования по изучению естественных полей, связанных с рельсами и вертикальными скважинами, на Ахтальском месторождении проводились в штреке 3, проходящем по порфиридам выше полиметаллической рудной линзы (рис. 1.7, г). Здесь рельсы расположены в интервале 100—280 м, а вертикальные скважины с обсадной трубой пробурены вниз из горной выработки на пикетах 41, 109 и 188. При этом скважины, пробуренные на пикетах 41 и 188, заполнены водным раствором. Воды, проявляющиеся в выработке, имеют слабокислую реакцию с общей минерализацией 1050 мг/л. Кривая потенциала по

штреку характеризуется положительной аномалией до +90 мв, соответствующей рудной линзе. На фоне этой аномалии отмечаются минимумы, приуроченные к положению вертикальных скважин (пикеты 41, 109 и 188). Локальные аномалии, полученные в интервале пикетов 30—60 и 180—195, где скважины заполнены водными растворами, более интенсивны (−90 мв), чем аномалия, полученная над сухой скважиной, пробуренной на пикете 109 (−50 мв).

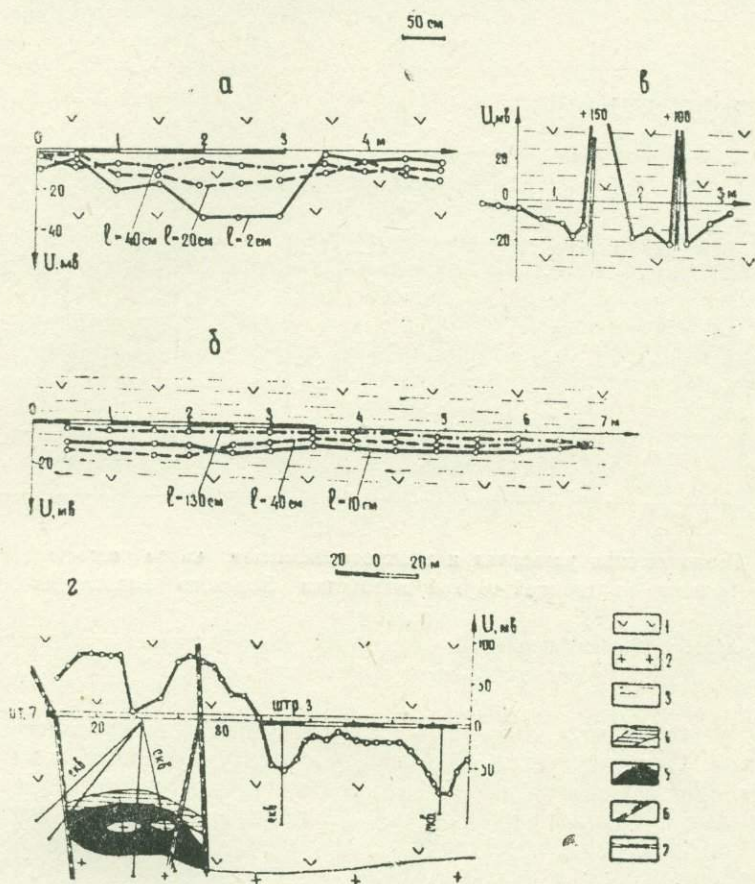


Рис. 1. 7. Кривые потенциала, полученные по выработкам при наличии рельсов и вертикальных скважин с обсадными трубами. 1—порфириты; 2—кварцевые плагиопорфиры; 3—обводненные участки; 4—баритовая руда; 5—полиметаллическая руда; 6—тектонические нарушения; 7—рельсы.

На рис. 1.8. представлены геологическая развертка и эквипотенциальная карта естественного поля, снятого по подошве горной выработки Зодского месторождения. Штольня пересекает перидотиты, туфобрекчии, гранодиориты и порфириты незначительной увлажненности. Водопроявления в виде редких капелей и едва заметных стоков зафиксированы лишь на приконтактных участках тектонических нарушений (интервалы пк 10—120, 175—180 и 340—370). Воды этих водопроявлений имеют нейтральный состав с общей минерализацией 850—930 мг/л.

Эквипотенциальная карта, полученная по подошве горной выработки, характеризуется вытянутыми вдоль рельсов изолиниями. Удаля-

ясь от рельсов, абсолютная величина потенциала резко падает и на большом расстоянии (40—70 см) принимает нулевое значение. На фоне общего поля вблизи рельсов выделяются локальные аномалии, имеющие форму, вытянутую вдоль выработки. Локальная аномалия с экстремальным значением потенциала -40 мв получена в интервале пикетов 0—120, где горная выработка пересекает перидотиты, грано-

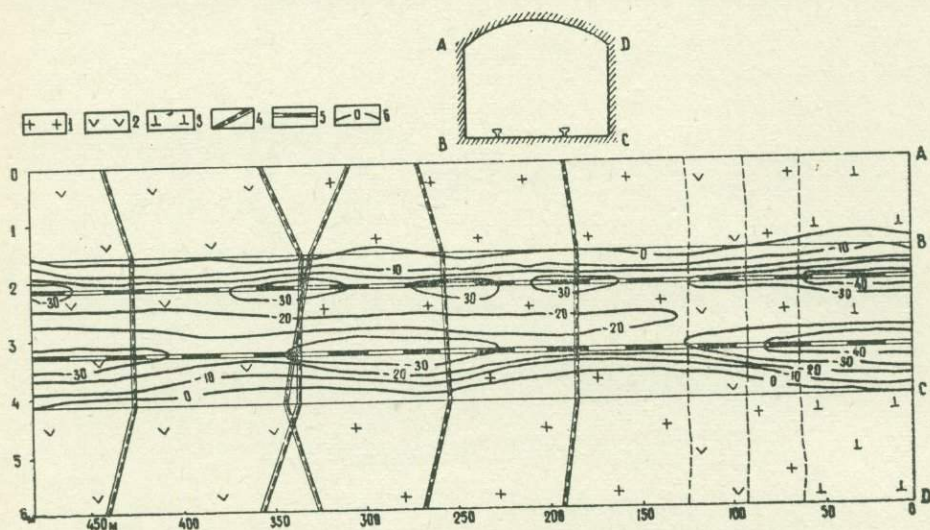


Рис. 1. 8. Геологическая развертка и эквипотенциальная карта естественного поля, снятая по подошве подземной горной выработки Зодского золоторудного месторождения.

1—гранодиориты; 2—порфириты; 3—перидотиты; 4—тектонические нарушения; 5—рельсы; 6—изопотенциальные линии.

диориты и порфириты, контакты которых слабо минерализованы и увлажнены. Следует также отметить, что вследствие высокой увлажненности среды рельсы на рассматриваемом интервале имеют хороший контакт с окружающей средой. Локальные аномалии потенциала до -30 мв получены в интервалах тектонических нарушений и контакта порфиритов с гранодиоритами (интервалы пк 160—210, 230—360 и 410—500), где породы слабо минерализованы и увлажнены.

По двум штольням Дастакертского месторождения, «Южной» и «Новой» (рис. 1. 9), проводились аналогичные исследования. Вмещающими породами здесь являются ороговикованные порфириты и гранодиориты. Штольня «Южная» пересекает зоны медно-молибденового оруденения (интервалы пк 85—90, 232—238 и 298—306), минерализованные фельзит-порфиновые и диабаз-порфиновые дайки (интервалы пк 2—10, 78—82 и 178—202) и тектонические нарушения (пк 49, 73). Подземные воды, проявляющиеся в виде капеей, имеют нейтральный состав с общей минерализацией 750—920 мг/л. Профиль наблюдения располагается на расстоянии 50—70 см от рельса. Кривая потенциала, снятая по штольне, характеризуется локальными отрицательными аномалиями. Расположение и размеры всех аномалий совпадают с геометрией минерализованных участков, что свидетельствует о рудном происхождении естественных полей, зафиксированных в выработке. Кроме этих аномалий по выработке не наблюдается отклонений кривой потенциала, несмотря на то, что по всей ее длине протягиваются рельсы.

Штольня «Новая» проходит по гранодиоритам и пересекает минерализованные фельзит-порфировые дайки (интервалы пк 82—98, 195—225) и тектонические нарушения (интервал пк 302—320). Кривая потенциала в районе минерализованных даек и тектонических нарушений характеризуется слабыми аномалиями. Отрицательная аномалия небольшой интенсивности (30—40 мв) в интервале пикетов 275—295 соответствует месту пересечения профиля штольни с рельсами, ответвляющимися в штрк 4.

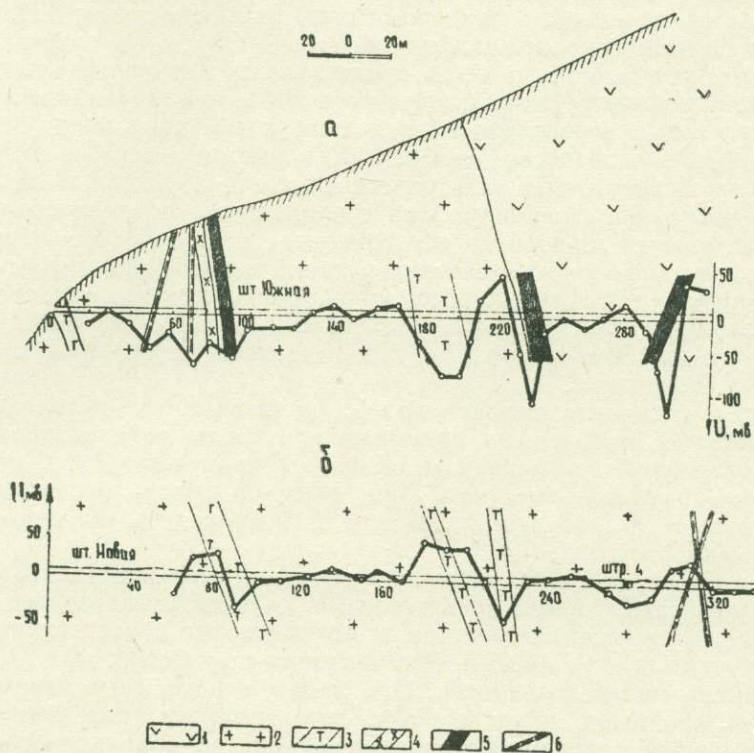


Рис. 1. 9. Геологические разрезы и кривые потенциала естественного поля, снятые по штольням «Южная» и «Новая» Дастакертского медно-молибденового месторождения.

1—порфириты; 2—гранодиориты; 3—дайки фельзит-порфиров; 4—дайки диабаз-порфиров; 5—рудные зоны; 6—тектонические нарушения.

Все эти данные позволяют сделать следующие выводы:

а) естественные электрические поля, связанные с рельсами, трубопроводами и т. п., имеют вытянутую форму и распределяются вдоль металлоконструкции;

б) размеры аномальных полей по простиранию совпадают с длиной линейно-вытянутого металлического оборудования, а вкrest простирания, в зависимости от степени увлажненности горной выработки, колеблются в пределах от 0,3 до 1, иногда до 2 м (в сухих горных выработках 0,3—0,7 м, а во влажных — 0,7—2 м);

в) величина потенциала естественного поля, вызванного рельсами, достигает 40 мв;

г) интенсивными отрицательными электрическими полями с потенциалом до 100 мв сопровождаются вертикальные скважины, заполненные водными растворами и оборудованные обсадной трубой.

Эти закономерности указывают на то, что электрические поля, вызванные металлоконструкциями, характеризуются в основном вертикальной поляризацией. В горизонтальном же направлении, по направлению простираения металлоконструкции, отмечаются лишь изменения интенсивности поля, обусловленные увлажненностью выработки, минералогическим составом горной среды и состоянием контакта оборудования с окружающими породами.

Таким образом, горизонтально вытянутое шахтно-рудничное металлическое оборудование не создает интенсивных полей и не является серьезным мешающим фактором при работе методом ЕП. Интенсивными полями сопровождаются обсадные трубы в вертикальных скважинах, которые могут быть представлены как вертикально вытянутые металлоконструкции. Следует отметить, что металлические конструкции разных горизонтов обследованных месторождений не имели между собой электрической связи. Это, вероятно, является существенной причиной отсутствия электрических полей, обусловленных рельсами и другим оборудованием. При соединенных металлических конструкциях разных горизонтов электрические поля за счет вертикального градиента физико-химических условий могут быть интенсивными. Такой вариант в книге не рассмотрен, поскольку все исследованные месторождения были вскрыты отдельными штольнями, между собой не связанными. Этот вопрос, конечно, является актуальным и требует особого исследования.

Чтобы исключить влияние полей, связанных с металлическими конструкциями, необходимо приемные электроды устанавливать в углах, образованных подошвой и стенкой горной выработки, если горная среда сравнительно сухая. При высокой увлажненности среды целесообразно исследование методом ЕП проводить по стенкам или кровле выработок.

Учет полей, имеющих большую интенсивность и связанных с вертикальными скважинами, пробуренными из подземных горных выработок, необходимо проводить путем геометрического сопоставления полученных аномалий с данными документации выработок.

Влияние горной выработки. При работе в подземных условиях геофизик-исследователь имеет дело с пространством, нарушенным горной выработкой, являющейся воздушной средой с практически бесконечно высоким электрическим сопротивлением.

Роль горных выработок при измерении в них потенциалов естественных полей можно оценить путем теоретических расчетов и лабораторных исследований.

С целью оценки искажающего влияния горной выработки на электрическое поле источник поля примем точечным, окружающую среду — однородной, а форму горной выработки — цилиндрической.

Потенциальные функции во внешнем пространстве и внутри цилиндра будут выражаться формулами [59, 123]:

во внешнем пространстве

$$U_e = U_0 + U_1, \quad (1.1)$$

внутри цилиндра

$$U_i = U_0 + U_2, \quad (1.2)$$

где U_1 и U_2 — добавочные функции, определяющие искажающее действие цилиндра;

U_0 — потенциал нормального поля, который определяется формулой:

$$U_0 = \frac{I\rho_0}{4\pi R}, \quad (1.3)$$

где I — сила тока точечного источника;
 ρ_0 — удельное электрическое сопротивление окружающей среды;
 R — расстояние точки наблюдения от источника поля.

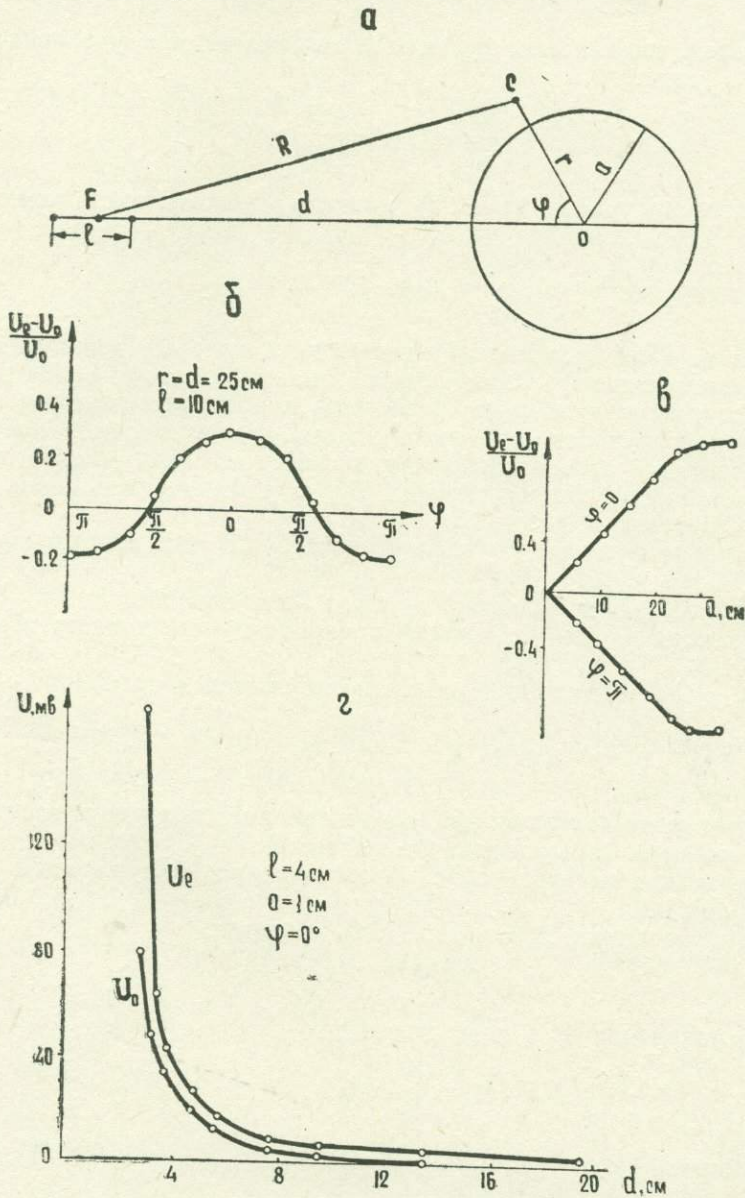


Рис. 1. 10. Графики, определяющие влияние горной выработки на величину потенциала ЕП.

Предположим (рис. 1. 10), что на расстоянии d от оси цилиндра радиуса a , помещенного в безграничную однородную среду, расположен точечный источник F .

Выберем цилиндрическую систему координат φ , r и z с начальной точкой, расположенной на оси цилиндра. Исходным примем направление полярной оси к источнику. Напишем уравнение Лапласа в виде:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0. \quad (1.4)$$

Принимая, что искомая функция U не зависит от z , уравнение (1.4) запишем в виде:

$$r \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} = 0. \quad (1.5)$$

Общий интеграл уравнения (1.5) может содержать произведения вида:

$$\frac{1}{r} \cos \varphi; \quad \frac{1}{r} \sin \varphi; \quad r \cos \varphi; \quad r \sin \varphi.$$

Составляя из этих произведений выражения, которые должны изображать потенциальные функции внутри цилиндрической области и вне ее, следует учесть очевидную симметрию в распределении потенциала относительно плоскости ось горной выработки — источник поля (при плоской задаче — относительно линии источника поля — центр сечения горной выработки). Этим условиям будут удовлетворять лишь произведения, содержащие $\cos \varphi$ [123].

Названные функции должны удовлетворять еще следующим условиям:

- 1) функции U_1 и U_2 всюду должны быть конечными;
- 2) функция U_2 для бесконечно удаленных точек должна обращаться в нуль;
- 3) на границе цилиндра должны выполняться требования:

$$U_i(a, \varphi) = U_e(a, \varphi) \text{ и } \left(\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial U_e}{\partial r} \right)_{r=a} = \left(\frac{1}{\rho_1} \frac{\partial U_i}{\partial r} \right)_{r=a},$$

где ρ_1 — удельное электрическое сопротивление воздуха в горной выработке (практически бесконечное);
 ρ_0 — удельное электрическое сопротивление окружающей горной среды.

Из треугольника FOC (рис. 1.10) следует:

$$R = \sqrt{d^2 + r^2 - 2rd \cos \varphi},$$

Разложив значение R в ряд, получим:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{d} \left(1 + \frac{r}{d} \cos \varphi + \dots \right). \quad (1.6)$$

Учитывая рассмотренные формулы (1.1), (1.2) и (1.6), а также условие при $\frac{r}{d} \ll 1$, получим следующие выражения:

$$U_e = \frac{I\rho_0}{4\pi d} \left(1 + \frac{r}{d} \cos \varphi \right) + \frac{B}{r} \cos \varphi; \quad (1.7)$$

$$U_i = \frac{I\rho_1}{4\pi d} \left(1 + \frac{r}{d} \cos \varphi \right) + A r \cos \varphi. \quad (1.8)$$

Согласно граничному условию (3) можно написать:

$$\frac{I\rho_0}{4\pi d} \left(1 + \frac{a}{d} \cos\varphi\right) + \frac{B}{a} \cos\varphi = \frac{I\rho_1}{4\pi d} \left(1 + \frac{a}{d} \cos\varphi\right) + Aa \cos\varphi; \quad (1.9)$$

$$\frac{I\rho_0}{\rho_0 4\pi d^2} \cos\varphi - \frac{1}{\rho_0} \frac{B}{a^2} \cos\varphi = \frac{I\rho_1}{\rho_1 4\pi d^2} \cos\varphi - \frac{1}{\rho_1} A \cos\varphi. \quad (1.10)$$

После некоторых преобразований уравнений (1.9) и (1.10) получим:

$$B = a^2 A, \quad \frac{I\rho_0}{4\pi d^2} \cos\varphi \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_1}\right) = \frac{1}{\rho_0} \frac{B}{a^2} \cos\varphi + \frac{1}{\rho_1} A \cos\varphi,$$

откуда

$$A = \frac{I\rho_0}{4\pi d^2} \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_1 + \rho_0}; \quad B = \frac{I\rho_0}{4\pi d^2} a^2 \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_1 + \rho_0}.$$

Подставляя значение B в уравнение (1.7), получим:

$$U_e = \frac{I\rho_0}{4\pi d} \left(1 + \frac{r}{d} \cos\varphi\right) + \frac{I\rho_0}{4\pi d} \frac{a}{d} \frac{a}{r} \cos\varphi \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_1 + \rho_0}, \quad (1.11)$$

или

$$U_e = U_0 + U_{0,c} \frac{a^2}{d \cdot r} \frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_1 + \rho_0} \cos\varphi, \quad (1.12)$$

где $U_{0,c}$ — нормальное значение потенциала в центре цилиндра. Учитывая, что в решаемой задаче $\rho_1 \gg \rho_0$, можно уравнение (1.12) представить в виде:

$$U_e = U_0 + U_{0,c} \frac{a^2}{dr} \cos\varphi, \quad (1.13)$$

где d — расстояние источника поля до центра горной выработки;

r — расстояние точки наблюдения до центра горной выработки;

a — радиус горной выработки;

φ — угол между направлениями r и d .

Выражение $U_{0,c} \frac{a^2}{dr} \cos\varphi$ в формуле (1.13) представляет собой искажение потенциала горной выработкой, расположенной вблизи разведочного профиля.

При $r=a$ формула (1.13) примет вид:

$$U_e = U_0 + U_{0,c} \frac{a}{d} \cos\varphi, \quad (1.14)$$

где выражение $U_{0,c} \frac{a}{d} \cos\varphi$ представляет собой влияние самой горной выработки, по которой проводятся наблюдения.

Значение потенциала для дипольного источника с учетом влияния горной выработки будет выражаться формулой:

$$U_{e,d} = U_0 + \frac{a^2}{r} \left(\frac{U_1 \cos\varphi_1}{d_1} - \frac{U_2 \cos\varphi_2}{d_2} \right). \quad (1.15)$$

При $r=a$ формула (1.15) примет вид:

$$U_{e, \lambda} = U_0 + a \left(\frac{U_1 \cos \varphi_1}{d_1} - \frac{U_2 \cos \varphi_2}{d_2} \right), \quad (1.16)$$

где U_1 и U_2 — нормальные значения потенциалов полюсов диполя в центре горной выработки;

d_1 и d_2 — расстояния полюсов источника до центра горной выработки;

φ_1 и φ_2 — углы между направлениями $r-d_1$ и $r-d_2$.

С целью проверки точности расчета и полученных формул были проведены модельные работы на плоской моделирующей установке типа МУСГ-1 [137]. Изучались изменения значения потенциала точечного и дипольного источников от горной выработки при различных значениях r , a , φ , d и размера диполя l . Рассчитаны экспериментальные кривые зависимости значения потенциала нормального и искаженного полей (при отсутствии и наличии горной выработки) от расстояния источника и кривые зависимости относительного отклонения потенциала

ала $\frac{U_e - U_0}{U_0}$ горной выработкой от величин φ и a (рис. 1.10, б, в).

На рис. 1.10, г представлены кривые зависимости U_0 и U_e от d , при $\varphi = 0^\circ$, $l = 4$ см и $a = 1$ см. При $\varphi = 0^\circ$ величина U_e больше величины U_0 причем отклонение U_e от U_0 находится в обратной зависимости от d . Таким образом, горная выработка меняет лишь абсолютную величину потенциала, но при различных расстояниях источника указанное изменение различно.

Изменение потенциала горной выработкой определяется также направлением источника и радиусом горной выработки (рис. 1.10, б, в).

Кривые, полученные с помощью модельных работ, подтверждают верность формул (1.14) и (1.16), выражающих величину потенциала точечного и дипольного источников при наличии горной выработки. Согласно полученным кривым относительное изменение потенциала, связанного с наличием горной выработки, находится в прямой зависимости от радиуса выработки и в обратной зависимости от расстояния точки наблюдения до источника. В формулах, полученных по теоретическим расчетам, вышеуказанные связи выражаются следующим образом: при $U_0 = U_{0, c}$ формулы (1.13) и (1.14) примут вид:

$$U_e = U_0 + U_0 \frac{a^2}{rd} \cos \varphi \quad (1.17)$$

и

$$U_{e|_{r=a}} = U_0 + U_0' \frac{a}{d} \cos \varphi. \quad (1.18)$$

Отсюда

$$\frac{U_e - U_0}{U_0} = \frac{a^2}{rd} \cos \varphi \quad (1.19)$$

и

$$\frac{U_{e|_{r=a}} - U_0}{U_0} = \frac{a}{d} \cos \varphi. \quad (1.20)$$

Из выражений (1.19) и (1.20) очевидно, что: а) при $d \rightarrow \infty$ $U_e = U_0$, т. е. на бесконечно удаленной точке горная выработка не влияет

на величину потенциала; б) при $a=d$ и $\varphi=0^0$ $U_e=2U_0$, что подтверждают исследования, проведенные А. А. Огильви и А. С. Семеновым [86, 118].

Как видно из формул (1.19) и (1.20) и кривой, представленной на рис. 1.10,б, изменение потенциала горной выработкой строго определяется направлением источника. Используя указанную связь, можно определить направление рудного объекта по отношению к горной выработке путем проведения наблюдений потенциала естественного поля по разным стенкам выработки и сравнения полученных данных. Этот вопрос более подробно рассматривается в 1.3.

1.2. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА НАБЛЮДЕНИЙ ЕСТЕСТВЕННОГО ПОЛЯ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ ПОДЗЕМНОГО БУРЕНИЯ

Изучение электрических полей, связанных с металлическим шахтно-рудничным оборудованием, фильтрацией водных растворов, влиянием горной выработки и другими факторами, позволяет разработать рациональную методику и технику наблюдений в подземных выработках и скважинах подземного бурения.

Воздействие таких факторов, как наличие кислорода в горных выработках и самой горной выработки, усиливает поля рудного происхождения и тем самым создает благоприятные условия для выявления искомого объектов. Фильтрационные поля и поля, связанные с металлическим шахтно-рудничным оборудованием, в наших условиях обычно отсутствуют или имеют небольшую интенсивность. Их можно исключить или учитывать при помощи простых методических приемов.

Перед началом исследований методом ЕП нужно установить наличие блуждающих токов, выяснить интенсивность и область их распространения. Во всяком случае, работы методом ЕП можно проводить только при полном отсутствии таких токов, т. е. при отключенных энергосистемах рудника. При невозможности их отключения наблюдения следует проводить в ночное время при односменной работе или в выходные дни.

Фильтрационные поля, большей частью имеющие небольшую интенсивность, не требуют специального учета. В тех редких случаях, когда аномалии фильтрационного поля заметны, они могут быть выделены путем сопоставления области их распространения с водопроявлениями, установленными по геологической документации горных выработок. Часто полезно водные накопления в районе трещиноватых пород дренировать путем их откачки или другими техническими приемами.

С целью исключения естественных полей, связанных с металлическим шахтно-рудничным оборудованием, целесообразно профили наблюдений располагать на расстоянии одного и более метров от металлических предметов, в углах, по стенкам или кровле выработки.

Желательно при документации горных выработок отмечать интервалы и виды водопроявлений, интенсивность фильтрации (редкие и частые каплежи и др.), наличие металлических конструкций (рельсы, водопроводные трубы и т. д.) с указанием их протяженности и состояния контакта с окружающей горной средой, все рудные пересечения и минерализованные участки. Руководствуясь материалами такой документации, выбирают точки стояния приемных электродов. Точка условного нуля, к которой приводятся кривые потенциала, снятые в разных выработках и скважинах, выбирается на определенном расстоянии от рудного участка в подземных выработках или на поверхности

земли, а точки увязки профилей и рядовых наблюдений на возможных больших расстояниях от металлических конструкций на безрудных участках.

При подземных исследованиях сеть наблюдений зависит от расположения горных выработок и скважин разведываемого месторождения. В большинстве случаев они разноориентированы в пространстве и имеют разную протяженность. Это затрудняет протягивание проводов, подключенных к клеммам измерительного прибора и приемных электро-

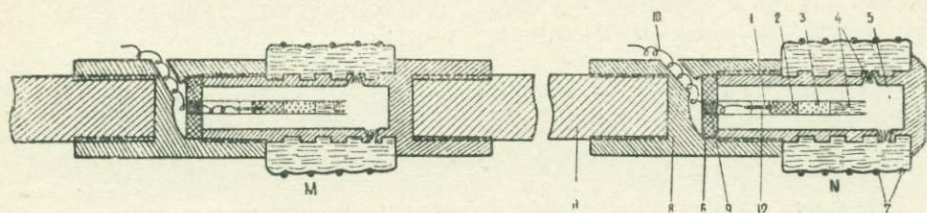


Рис. 1. 11. Неполяризующиеся скважинные электроды.

1—платиновая проволока; 2—ртуть (химически чистая); 3—каломель; 4—вата, смоченная насыщенным раствором KCl; 5—агар-агар; 6—резиновая пробка; 7—шпатель; 8—соединительная муфта; 9—клей; 10—многожильный провод; 11—винипластовая штанга; 12—стеклянная трубка.

дов, а также связь между оператором и рабочими. Отмеченные условия, а также высокая влажность среды, вследствие которой желательны провода подвешивать к стенкам выработки, указывают на целесообразность проведения наблюдений короткими линиями (100—300 м). Первый интервал съемки проводят способом потенциалов. Затем неподвижный электрод перемещают на одну из точек профиля, расположенную вне пределов исследованного интервала, на безрудном участке. Новая точка стояния неподвижного электрода выбирается таким образом, чтобы с нее, при данной длине линии, можно было перекрыть 5 точек первого интервала. С новой точки снимается профиль в полную длину провода в обе стороны от нее. После того, как второй интервал исследован, переходят таким же путем к исследованию третьего интервала и т. д. Увязку интервалов профилей, снятых с различных точек, проводят путем совмещения полученных кривых. ЕП в местах перекрытия. Если кривые в пределах заданной погрешности не совпадают, то наблюдения на последнем интервале повторяют.

Для регистрации потенциалов естественного поля в подземных горных выработках и горизонтальных скважинах специальной аппаратуры не имеется. Поэтому измерения проводятся обычно прибором ЭСК-1, который во избежание проникновения влаги внутрь его помещается в прозрачный полиэтиленовый мешок, что предохраняет прибор от возможных утечек.

К приемным электродам прибор подключается проводом марки ГПСМ, характеризующимся удовлетворительной изоляцией и большой прочностью. Катушка с проводом ставится на специальную подставку, покрытую полиэтиленовой пленкой.

Обычно используются неполяризующиеся медно-купоросные электроды конструкции А. С. Полякова [119], э. д. с. между которыми поддерживается в пределах 2 мв. Для этого при каждом переходе на новую точку стояния неподвижного электрода и после окончания наблюдения одного крыла данного интервала (когда подвижный электрод перемещается, мимо точки стояния неподвижного электрода) измеряется э. д. с. между ними. Если э. д. с. превышает 2 мв, электроды заменяются новой парой.

С целью повышения точности наблюдений потенциала ЕП в горизонтальных скважинах необходимо иметь высококачественные электроды с постоянной электродвижущей силой. В связи с этим был сконструирован специальный каломельный скважинный электрод (КСЭ), конструкция которого представлена на рис. 1.11 [44].

Для доставки электродов в точку наблюдения могут применяться специальные штанги, описание которых приведено в главе 2.

1.3. СТРУКТУРА ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АРМЯНСКОЙ ССР И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОДЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ МЕТОДОМ ЕП

С помощью описанной методики и техники были проведены исследования пространственного распределения естественных электрических полей на ряде месторождений Армянской ССР: Ахталъском, Шамлугском, Зодском, Кафанском и Дастакертском, которые характеризуются различными геологическими, структурными и другими условиями.

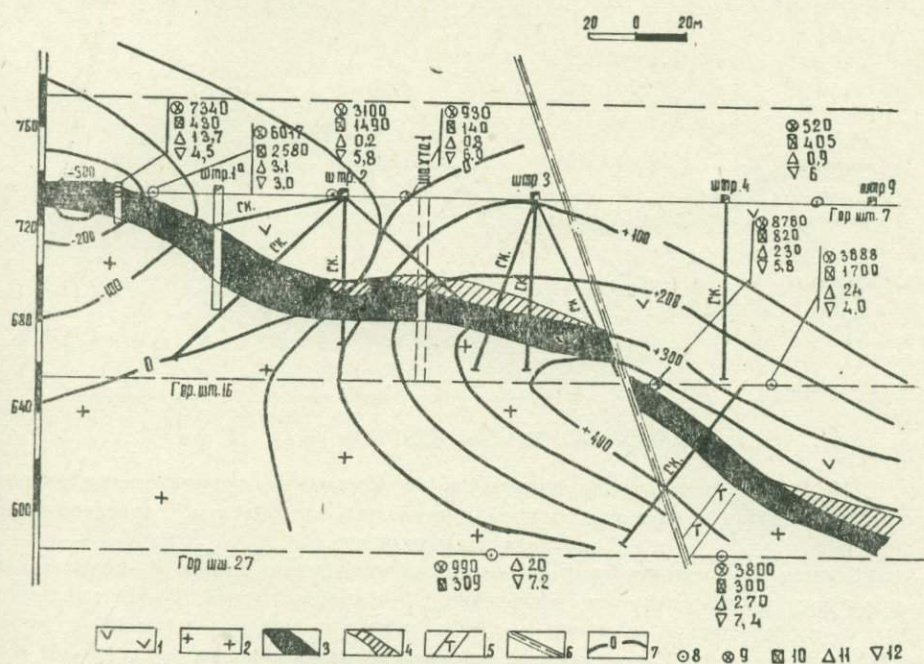


Рис. 1. 12. Геологический разрез по направлению падения линзы 11 Ахталъского месторождения, эквипотенциальная карта естественного поля и некоторые результаты гидрохимических анализов подземных вод.

1—порфириты; 2—кварц-порфиры; 3—полиметаллическая руда; 4—баритовая руда; 5—дайки фельзит-порфиоров; 6—тектоническое нарушение; 7—изопотенциальные линии; 8—точки отбора проб воды; 9—общая минерализация вод, мг/л; 10—содержание SO_4 в водах, мг/л; 11—содержание тяжелых металлов (железо, медь, цинк, свинец) в водах, мг/л; 12—рН водных растворов.

Рудные тела Ахталъского месторождения приурочены к верхней части толщи кварцевых плагиопорфиров непосредственно у их контакта с порфиритами. Рудные тела представлены плоскими линзами. Линзы обычно имеют по падению большие размеры (100—700 м), чем по простиранию (20—80 м). Рудные тела представлены пиритом, галенитом, халькопиритом, баритом и сфалеритом.

На рис. 1.12 представлены геологический разрез по направлению падения рудной линзы 11, результаты гидрохимических анализов и эквипотенциальная карта естественного поля. Последняя построена по данным, полученным в горных выработках горизонтов штолен 7, 16 и 27. На карте выделяются области отрицательного и положительного потенциала. Область отрицательного потенциала приурочена к верхней части рудной линзы, а область положительного потенциала — к средней и нижней частям ее. Верхняя часть рудного тела, отмечаемая отрицательным потенциалом, по падению имеет длину 120 м, а другая часть положительного потенциала протягивается на 500 м. Отношение этих длин, таким образом, составляет 4,2. В стороны от оруденения поле распространяется на расстояние до 100 м.

Рис. 1.13 изображает геологический разрез по штольне 16, результаты гидрохимических анализов и эквипотенциальную карту естественного поля. На этой карте отмечается поле двух источников (линзы 10 и 11), расположенных вблизи друг друга. В районе верхней части лин-

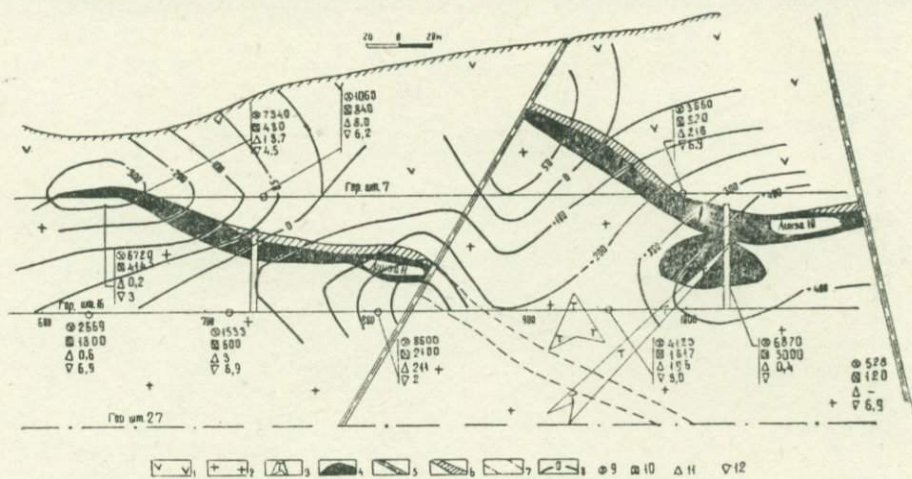


Рис. 1. 13. Геологический разрез по штольне 16 Ахталского месторождения, эквипотенциальная карта естественного поля и некоторые результаты гидрохимических анализов подземных вод.

1—порфириты; 2—кварц-порфириты; 3—фельзит-порфиновые дайки; 4—полиметаллическая руда; 5—тектонические нарушения; 6—баритовая руда; 7—контур рудной линзы; 8—изопотенциальные линии; 9—общая минерализация вод, мг/л; 10—содержание SO_4 в водах, мг/л; 11—содержание тяжелых металлов в водах, мг/л; 12—рН водных растворов.

зы 11 наблюдается отрицательное поле с экстремальным значением потенциала -330 мв. В средней части рисунка, где рудные линзы сближаются, имеет место сложное поле. В районе верхней части линзы 10 отмечается отрицательное поле, а в районе средней и нижней частей ее—положительное. Значение потенциала здесь достигает $+400$ мв. Часть линзы 10, сопровождающаяся отрицательным полем, по падению имеет длину 40 м, а другая часть, сопровождающаяся положительным полем,—140 м. Отношение их длин, таким образом, составляет 3,5.

Химический состав вод месторождения формируется, в основном, в результате процессов окисления сульфидных минералов и характеризуется высокой минерализацией в районах интенсивных естественных полей.

Водные растворы в верхней части рудных линз характеризуются высоким содержанием тяжелых металлов (железо, медь, цинк, свинец) — 13,7 мг/л и сравнительно низким содержанием SO_4^{2-} (430 мг/л). В пределах отрицательной аномалии ЕП, наоборот, содержание SO_4^{2-} в водных пробах высокое (до 4145 мг/л), а тяжелых металлов — низкое (0,2—3,0 мг/л). На нижних горизонтах, где естественное поле имеет положительный потенциал, наблюдается обратное распределение катионов и анионов: в рудном теле содержание тяжелых металлов в водах составляет 0,4—4,3 мг/л, а SO_4^{2-} — 2340—5000 мг/л. За пределами рудного тела, вблизи его, содержание тяжелых металлов составляет 194—220 мг/л, а содержание SO_4^{2-} — 380—820 мг/л. Водные растворы в пределах отрицательной аномалии ЕП характеризуются кислой реакцией (рН=3—5), а в пределах положительной аномалии — нейтральной реакцией (рН=6—8).

Шамлуговое месторождение меди сложено в основном эффузивными туфоосадочными породами. Рудные тела месторождения представляют собой как бы сплюснутые штоки с площадью от 3 до 10 тыс. кв. м и мощностью 10—20 м. Основными рудными минералами являются пирит, халькопирит, сфалерит.

На этом месторождении изучена структура естественного поля рудной жилы № 14 и штока «KL». В районе жилы № 14 изучен также химический состав подземных вод.

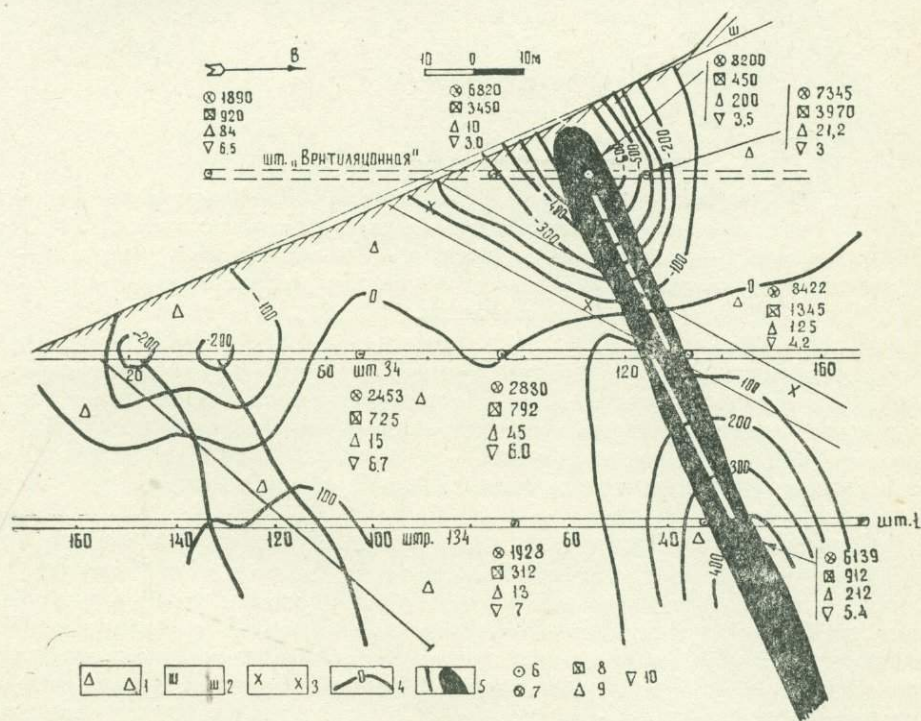


Рис. 1. 14. Геологический разрез по падению жилы 14 Шамлугового месторождения, эквипотенциальная карта естественного поля и некоторые результаты гидрохимических анализов подземных вод.

1—туфобрекчии порфиров; 2—кератофиры; 3—диабазовая дайка; 4—изопотенциальные линии; 5—медноколчеданные жилы; 6—точки отбора проб воды; 7—общая минерализация подземных вод, мг/л; 8—содержание SO_4 в водах, мг/л; 9—содержание тяжелых металлов (железо, медь) в водах, мг/л; 10—рН водных растворов.

На рис. 1.14 представлены геологический разрез, результаты гидрохимических анализов и эквипотенциальная карта естественного поля. Карта представляет два отдельных поля наклонно поляризованных источников, расположенных на расстоянии 90—100 м друг от друга. Поле, полученное в районе рудной жилы № 14, характеризуется высокими значениями потенциала и более правильной формой. В левой части разреза получено сложное поле, обусловленное наличием двух близко расположенных рудных жил.

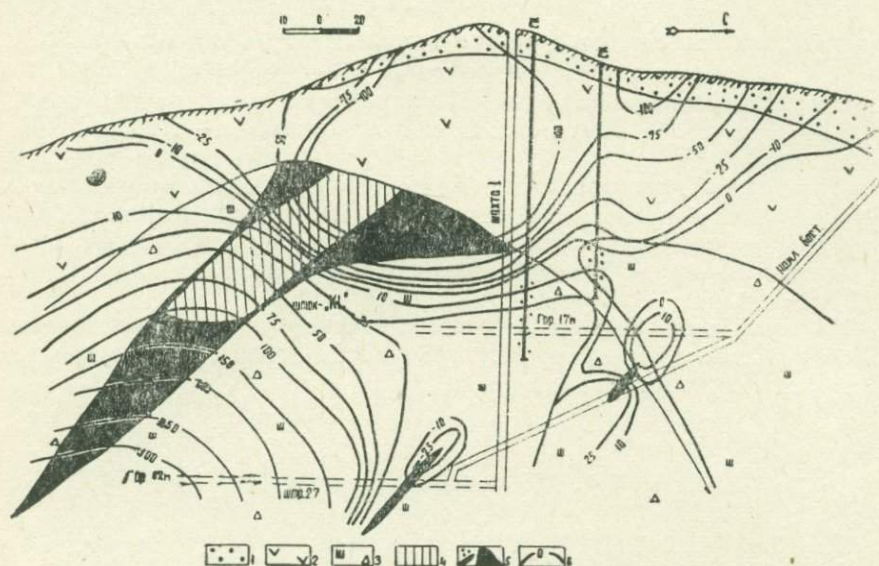


Рис. 1. 15. Геологический разрез по падению штока «КЛ» Шамлугского месторождения меди и эквипотенциальная карта естественного поля.
1—песчаники; 2—альбитофиры; 3—кератофиры; 4—обработанный участок; 5—медноколчеданные рудные тела и пиритизированные участки; 6—изопотенциальные линии.

Естественное поле в районе рудной жилы № 14 характеризуется высокими значениями и резким градиентом потенциала и имеет вытянутую по падению форму. Фиксируется отрицательный потенциал в верхней части и положительный — в нижней. Длина отрицательной аномалии по падению жилы составляет 40 м, а положительной части больше 90 м.

Содержание SO_4^{2-} в водных пробах в пределах отрицательной аномалии у самого оруденения относительно низкое (450 мг/л), по мере удаления от руд оно повышается до 3970 мг/л и затем вновь убывает. Содержание тяжелых металлов в верхней части рудной линзы составляет 200 мг/л, а вблизи рудного тела, в области отрицательной аномалии, — 10—21 мг/л. На нижних горизонтах наблюдается обратное распределение анионов и катионов. В пределах отрицательной аномалии ЕП рН водных растворов составляет 3—3,5, а в пределах положительной аномалии — 5—7.

Рис. 1.15 изображает геологический разрез и эквипотенциальную карту естественного поля участка штока «КЛ». Карта представляет поле дипольного источника, которое искажено локальными полями в районах небольших рудных скоплений и пиритизированных пород. Естественное поле участка имеет такой же характер, как и в районе

рудной жилы № 14. Размер отрицательной части аномалии по падению штока составляет 30 м, а положительной части — 130 м. Следовательно, размер отрицательной части аномалии в 4,3 раза меньше положительной.

На Зодском золоторудном месторождении среди пород габбро, перидотитов и серпентинитов на большом расстоянии на ширину 10—

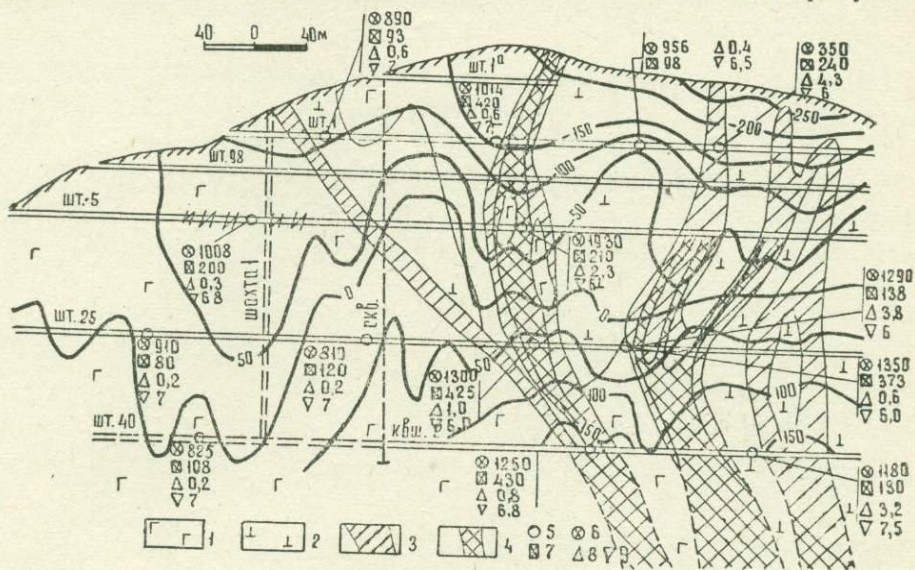


Рис. 1.16. Геологический разрез по «Центральному» участку Зодского месторождения, эквипотенциальная карта естественного поля и некоторые результаты гидрохимических анализов подземных вод.

1—габбро; 2—перидотиты; 3—рудные зоны; 4—рудные тела; 5—точки отбора проб воды; 6—общая минерализация подземных вод, мг/л; 7—содержание SO_4 в водах, мг/л; 8—содержание тяжелых металлов (железо, медь) в водах, мг/л; 9—рН водных растворов.

70 м распространяются зоны гидротермально измененных пород с сульфидной минерализацией. В них выделяются линейно-вытянутые рудные тела мощностью от 1 до 24 м. Они сложены, в основном, кварцем, карбонатом, пиритом, халькопиритом, арсенопиритом, сфалеритом и др.

Эквипотенциальная карта, представленная на рис. 1.16, изображает естественное поле, вызванное рудными зонами «Центрального» участка Зодского месторождения. Здесь на поверхности земли и по горизонтам штолен 1а, 1, 98 и 5 потенциал ЕП имеет отрицательный знак, а на горизонтах штолен 25 и 40 — положительный. По сравнению с Ахталским и Шамлугским месторождениями здесь естественное поле характеризуется более сложным строением за счет влияния сбlijженных рудных зон. Общее поле рудного участка, на котором выделяются локальные аномалии в районах рудных зон, имеет отрицательную область на верхних горизонтах и положительную — на нижних.

Так же, как на Ахталском и Шамлугском месторождениях, общая минерализация вод, а также концентрация SO_4^{2-} и суммы металлов убывает с удалением от оруденения. При этом на верхних горизонтах у самого оруденения содержание SO_4^{2-} меньше, чем на некотором удалении от него, а затем уменьшается с увеличением расстояния от рудных зон. Концентрация суммы металлов убывает к периферии месторождения.

На участке размер зоны отрицательного поля по вертикали составляет 200—220 м, а исследованной части положительного поля—100—130 м. В соответствии с соотношением частей зон отрицательного и положительного полей на Ахталском и Шамлугомском месторождениях протяжение зон на «Центральном» участке Зодского месторождения можно ожидать на глубину до 600—1100 м от горизонта штольни 40.

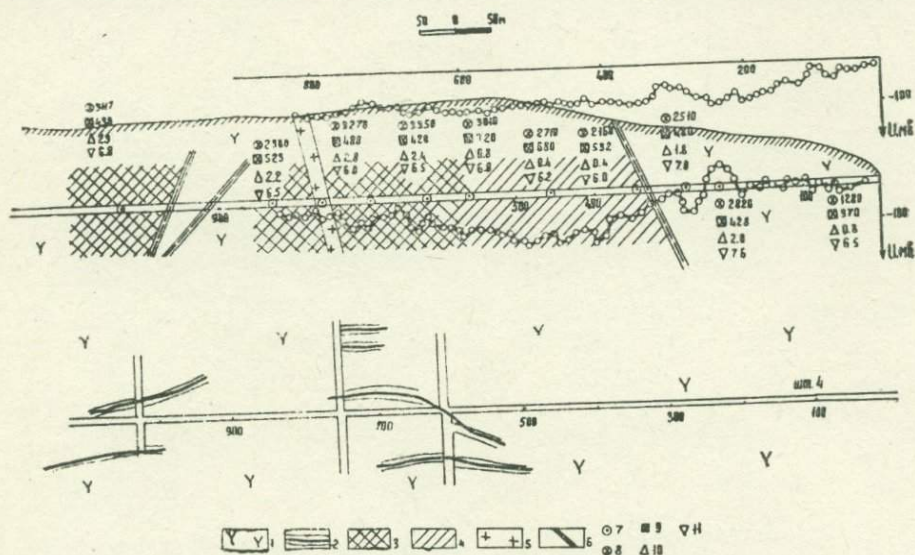


Рис. 1.17. Геологический разрез по штольне 4 Шаумянского участка Кафанского медно-полиметаллического месторождения, кривые потенциала ЕП и результаты гидрoхимических анализов подземных вод.

1—кварцевые порфириты; 2—медно-полиметаллические рудные жилы; 3—медно-полиметаллические рудные жилы (на разрезе); 4—прожилково-вкрапленное оруденение; 5—диоритовая дайка; 6—тектонические нарушения; 7—точки отбора проб воды; 8—общая минерализация подземных вод, мг/л; 9—содержание SO_4 в подземных водах, мг/л; 10—содержание тяжелых металлов (железо, медь, цинк, свинец) в водах, мг/л; 11—рН водных растворов.

Шаумянский участок Кафанского месторождения (рис. 1.17) характерен наличием многочисленных рудных жил, залегающих, в основном, в кварцевых порфиритах. Жилы представлены пиритом, халькопиритом, галенитом и сфалеритом. Текстура их массивная, полосчатая, а также в значительной мере прожилково-вкрапленная.

На участке общий характер изменения естественного поля и химического состава вод в горизонтальном направлении следующей: а) в пределах рудных жил содержание металлов в водах высокое, а с удалением от рудного участка падает. Содержание SO_4^{2-} в пределах рудных жил низкое, на приконтактных участках, в зоне отрицательной аномалии естественного поля, оно повышается и с удалением от рудного участка уменьшается; б) на земной поверхности и по штольне № 4 отмечается отрицательное поле, т. е. по вертикали оно простирается на 150 м. Положительное поле, которое должно было располагаться ниже отрицательного, на участке не зарегистрировано, что указывает на большое протяжение оруденения в глубину; в) характер наблюдаемого поля таков, что отдельные скопления, находящиеся на близком расстоянии друг от друга, в суммарном поле практически не выделяются.

По мере разработки **Дастакертского месторождения** было установлено, что в большом рудном поле широко распространено убогое мед-

но-молибденовое оруденение, не имеющее промышленного содержания, а в зоне смятия и дробления расположены обогащенные полосы с относительно высоким содержанием меди и молибдена. Рудные тела имеют небольшие размеры. Главными минералами являются пирит, халькопирит, халькозин и молибденит. Текстура рудных тел массивная, полосчатая, прожилковая и вкрапленная.

На рис. 1.18 представлены геологический план горизонтов штолен «Южная», «Новая», кривые потенциала естественного поля, снятые по горным выработкам и скважинам, и некоторые результаты гидрохимического исследования подземных вод.

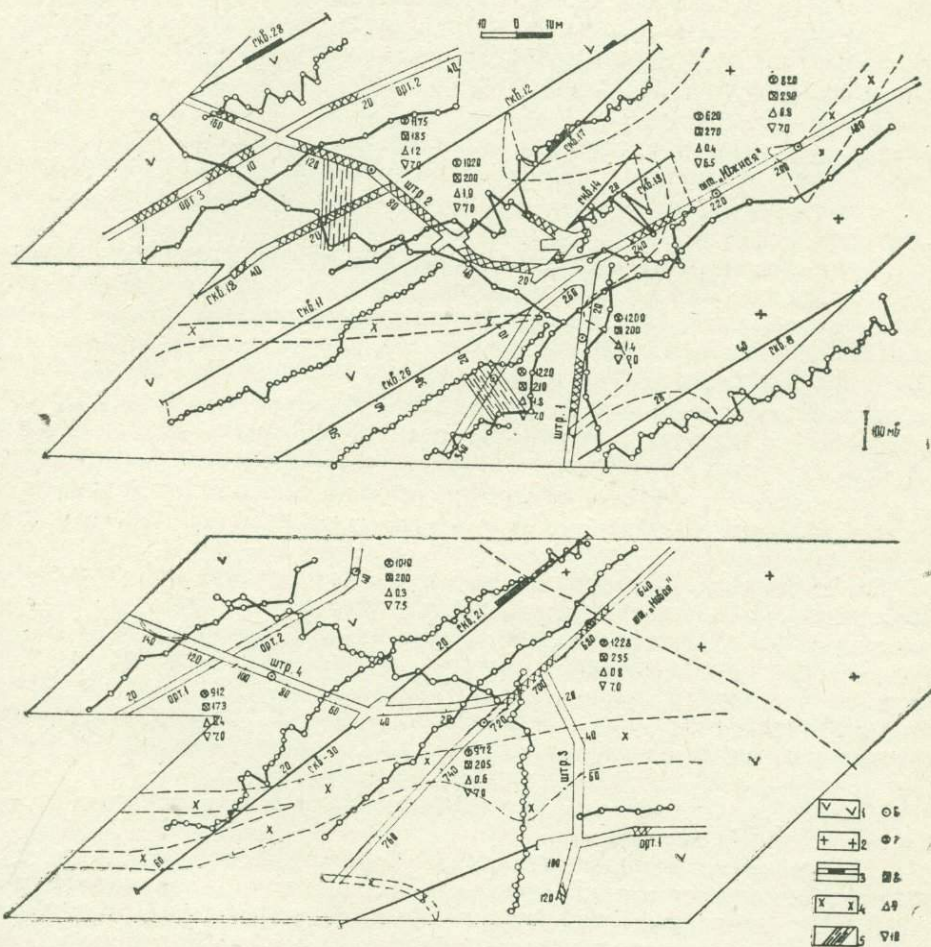


Рис. 1. 18. Геологические планы горизонтов штолен «Южная» и «Новая» Дастакертского месторождения, кривые потенциала ЕП и результаты гидрохимических анализов подземных вод.

1—порфириты; 2—гранодиориты; 3—рудные пересечения; 4—фельзит-порфировые дайки; 5—широтный разлом; 6—точки отбора проб воды; 7—общая минерализация подземных вод, мг/л; 8—содержание в водах SO_4 , мг/л; 9—содержание тяжелых металлов (железо, медь, молибден) в водах, мг/л; 10—рН водных растворов.

Кривые ЕП на горизонте штольни «Южная» характеризуются отрицательной аномалией, территориально соответствующей рудному участку. На фоне общего поля отмечаются небольшие локальные ано-

малии, которые совпадают с расположением рудных скоплений. Подземные воды на рудном участке горизонта имеют нейтральный состав ($pH=6-7$). В области отрицательного поля, в пределах рудных объектов, общая минерализация водных растворов составляет 1020—1220 мг/л, содержание SO_4^{2-} в водах — 185—200 мг/л, тяжелых металлов — 0,8—1,1 мг/л. За пределами рудных тел общая минерализация вод понижается до 620 мг/л, содержание SO_4^{2-} в водах повышается и колеблется в пределах 230—270 мг/л, а тяжелых металлов понижается и становится равным 0,3—0,4 мг/л.

Горизонт штольни «Новая» проходит на глубине 0—250 м. Кривые естественного поля здесь отмечают положительные значения потенциала. На общем фоне поля выделяются локальные аномалии, как положительные, так и отрицательные. В пределах рудных пересечений общая минерализация подземных вод составляет 1228 мг/л, содержание SO_4^{2-} в водах — 235 мг/л, а тяжелых металлов — 0,4 мг/л. На приконтактных участках, в пределах положительной аномалии естественного поля, общая минерализация составляет 899—1010 мг/л, содержание SO_4^{2-} в водах — 110—205 мг/л, а тяжелых металлов повышается до 0,6—0,7 мг/л.

На рассмотренном месторождении, где оруденение представлено мелкими скоплениями, наблюдаемое поле представляет собой сумму многих локальных полей, каждое из которых имеет небольшие размеры. Общая минерализация подземных вод, а также содержание в них SO_4^{2-} и тяжелых металлов характеризуются невысокими значениями и небольшой амплитудой изменений. Концентрация металлов в водах, небольшая на верхних горизонтах, еще более убывает при удалении в стороны от центра оруденения. Содержание SO_4^{2-} несколько повышается в направлении от центра к периферии области развития рудных прожилков наверху и убывает в сторону от оруденения на нижних горизонтах.

По характеру оруденения и размерам рудных тел исследованные месторождения можно разделить на три группы: 1) рудные тела с массивным оруденением и четкими контактами (Ахталское и Шамлугское); 2) рудные зоны с жильным, жильно-прожилковым и прожилково-вкрапленным оруденением (Зодское месторождение и Шаумянский участок Кафанского месторождения); 3) локальные обогащенные участки без резких границ рудных скоплений и зоны в целом (Дастакертское медно-молибденовое месторождение).

На обследованных месторождениях наблюдаются некоторые особенности естественных полей:

1. Они имеют дипольный характер, причем верхняя часть рудных объектов отмечается отрицательным полем, а нижняя — положительным.

2. При протяженности рудных объектов по падению более нескольких десятков метров размеры оруденения в области отрицательного естественного поля в 3—5 раз меньше, чем в области положительного поля.

3. В зависимости от характера пространственного распределения рудного вещества меняется структура естественного поля. Изменения связаны с особенностями сложения полей отдельных рудных скоплений. Если на Шамлугском и Ахталском месторождениях можно выделить поля, соответствующие каждому рудному телу, то на Дастакертском месторождении наблюдаемое поле представляет собой сумму полей многих рудных скоплений. Поля на Зодском и Кафанском месторождениях занимают промежуточное положение между отмеченными

крайними случаями. Здесь, с одной стороны, имеется общее поле месторождения, а с другой, можно проследить и локальное поле каждой рудной зоны. Естественные поля отдельных больших рудных тел отличаются от суммы полей многих сближенных рудных образований величиной градиента потенциала. Для локальных полей он составляет единицы и десятки мВ/м, а для суммарных полей падает до десятых и даже сотых долей мВ/м.

4. В зависимости от размеров тел и их взаимного расположения результаты сложения локальных полей различны. Учитывая соотношение отрицательной и положительной областей поля каждого скопления, а также их размеры в зависимости от протяженности по падению, можно построить суммарные поля для разных сочетаний. При расположении рудных объектов на расстоянии в 1,5—2,0 раза меньшем, чем их протяжение на глубину, наблюдаются отдельные, невзаимосвязанные локальные поля (Шамлугское месторождение). Более близкое размещение рудных тел вызывает суммирование полей (Ахталское и Зодское месторождения). При расстоянии между телами в 5 раз меньшем их длины по падению локальные поля сливаются в одно суммарное поле, и выделить каждое тело становится крайне затруднительным (Дастакертское месторождение). Смещение тел по вертикали приводит к сложению отрицательного поля нижнего объекта с положительным полем верхнего, в результате чего между телами возникает область относительно невысоких значений потенциала.

5. Распределение ионов металлов и SO_4^{2-} в водах около рудных тел обуславливает структуру естественного поля [113, 118]. Для месторождений в целом минерализация вод, а также концентрация металлов и сульфат-иона убывают от оруденения в сторону вмещающих пород. Однако поведение катионов металлов отличается от поведения аниона SO_4^{2-} . Различие заключается в том, что концентрация аниона в районе верхней части рудных тел в области отрицательного естественного поля по мере удаления от оруденения сначала повышается, а только после этого понижается. В то же время концентрация катионов просто убывает. В области положительного потенциала естественного поля наблюдается обратное распределение анионов и катионов.

Отмеченные особенности структуры естественных полей позволяют утверждать полезность и целесообразность использования метода естественного поля для обнаружения «слепых» рудных тел в окрестностях выработок и скважин, а также для изучения оруденения в разных блоках месторождения.

Сам факт выявления аномалий естественного поля указывает на возможное присутствие рудных тел и служит для их обнаружения. Опыт работ на рудниках Армении показывает, что методом естественного поля можно выявить руды разных типов: полиметаллические, колчеданные, медно-молибденовые и т. д. Причем сами наблюдения достаточно просты и не требуют больших затрат.

Размеры аномальных полей составляют от нескольких десятков метров до 100—150 м и зависят в основном от размеров тел по падению. Методом естественного поля можно обнаруживать сульфидные рудные тела и прослеживать их в околорудном пространстве на расстояниях до 100 и более метров.

Характер наблюдаемых полей позволяет судить об особенностях обследуемого оруденения. Если градиенты составляют единицы и десятки мВ/м, то это указывает, что обследуемое оруденение представлено компактной залежью и вероятнее всего относится к колчеданному или колчеданно-полиметаллическому типу. Величины градиентов потенциала меньше десятых и сотых мВ/м служат указанием на обнару-

жение суммарного поля, обусловленного оруденением, состоящим из многих сближенных скоплений, протягивающихся на глубину. Такое оруденение, как правило, относится к штокверковому типу и представлено медно-молибденовыми или собственно полиметаллическими рудами, приуроченными к ослабленным зонам трещиноватости или дробления. Для последнего типа руд по данным естественного поля, как правило, нельзя выделить каждое отдельное рудное скопление, но можно характеризовать оруденение в целом как единую рудную зону.

Дипольный характер рудных полей позволяет, с одной стороны, оценить протяженность руд на глубину, а с другой, определить положение оруденения относительно выработки: а) используя наблюдаемую закономерность соотношения размеров отрицательной и положительной областей естественного поля, а также фактические данные, полученные на конкретном участке, можно прогнозировать глубину распространения оруденения; б) сам факт наблюдения положительного или отрицательного поля указывает на место нахождения выработки по отношению к рудному телу в районе верхней или нижней его части.

Учитывая закономерный характер дипольной структуры поля и располагая наблюдениями по разным выработкам, можно путем простых геометрических построений указать направление, а иногда и положение оруденения относительно выработки. Такое построение сводится к тому, что, наблюдая изменение поля вдоль каждой выработки, на разрезах или в планах реконструируется дипольная структура поля и находится вероятное положение отрицательного и положительного полюсов источников естественного поля.

Если аномалия выявлена только по одной горной выработке, то определение элементов залегания рудных объектов в общем случае затруднено. Однако такое определение возможно для крутопадающих рудных тел, близко расположенных к горной выработке. При этих условиях можно определить направление падения рудного объекта по отношению к горной выработке. Для этого потенциал естественного поля наблюдается по нескольким (минимум четырем) профилям, проходящим по подошве, кровле и стенкам выработки. По полученным значениям потенциала какого-либо пикета строятся «вектора» составляющих поля. Путем сложения «векторов» определяют суммарный «вектор», который будет направлен к одному из полюсов источника.

Для рассмотрения вопроса примем среду однородной, горную выработку — цилиндрической формы и на некотором расстоянии от нее представим вертикально поляризованное рудное тело.

Если не учитывать влияние горной выработки, то значения потенциала в точках 0, 90, 180 и 270° (точки А, В, С и D — рис. 1.19) окружности сечения горной выработки определяются формулами:

$$U_A = \frac{\gamma_2}{2\gamma_1 + \gamma_2} \cdot \frac{r_0^2}{d_A^2} \Delta U_0 \cos \theta_A = M \frac{\cos \theta_A}{d_A^2}; \quad (1.12)$$

$$U_B = \frac{\gamma_2}{2\gamma_1 + \gamma_2} \cdot \frac{r_0^2}{d_B^2} \Delta U_0 \cos \theta_B = M \frac{\cos \theta_B}{d_B^2}; \quad (1.13)$$

$$U_C = \frac{\gamma_2}{2\gamma_1 + \gamma_2} \cdot \frac{r_0^2}{d_C^2} \Delta U_0 \cos \theta_C = M \frac{\cos \theta_C}{d_C^2}; \quad (1.14)$$

$$U_D = \frac{\gamma_2}{2\gamma_1 + \gamma_2} \cdot \frac{r_0^2}{d_D^2} \Delta U_0 \cos \theta_D = M \frac{\cos \theta_D}{d_D^2}; \quad (1.15)$$

где U_A, U_B, U_C и U_D — значения потенциала естественного поля в точках 0, 90, 180 и 270° окружности сечения выработки;

γ_1 и γ_2 — электропроводность окружающей среды и рудного объекта;

ΔU_0 — максимальный скачок потенциала на контакте рудное тело — окружающая среда;

d_A, d_B, d_C и d_D — расстояния точек наблюдений А, В, С и D до источника поля;

$\theta_A, \theta_B, \theta_C$ и θ_D — углы между осью поляризации рудного объекта и направлениями d_A, d_B, d_C и d_D .

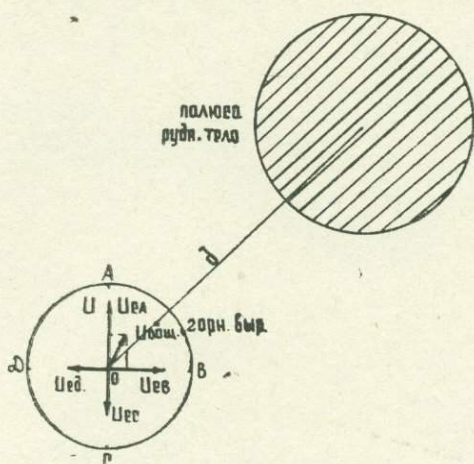


Рис. 1. 19. Определение направления положения рудного объекта по отношению к горной выработке.

Как представлено в 1.1, значение потенциала от источника подобного рода в подземных горных выработках определяется формулой:

$$U_e = U_0 \left(1 + \frac{a}{d_1} \cos \varphi_1 - \frac{a}{d_2} \cos \varphi_2 \right). \quad (1.16)$$

Подставляя выражения (1.12), (1.13), (1.14), (1.15) в формулу (1.16) для случая $d_{A,2} \gg d_{A,1}$, $d_{B,2} \gg d_{B,1}$, $d_{C,2} \gg d_{C,1}$, $d_{D,2} \gg d_{D,1}$, т. е. при значительно большем размере диполя по сравнению с расстоянием ближнего его полюса от горной выработки, получим:

$$U_{e,A} = M \frac{\cos \theta_A}{d_A^2} \left(1 + \frac{a \cos \varphi_{A,1}}{d_{A,1}^2} \right); \quad (1.17)$$

$$U_{e,B} = M \frac{\cos \theta_B}{d_B^2} \left(1 + \frac{a \cos \varphi_{B,1}}{d_{B,1}^2} \right); \quad (1.18)$$

$$U_{e,C} = M \frac{\cos \theta_C}{d_C^2} \left(1 + \frac{a \cos \varphi_{C,1}}{d_{C,1}} \right); \quad (1.19)$$

$$U_{e,D} = M \frac{\cos \theta_D}{d_D^2} \left(1 + \frac{a \cos \varphi_{D,1}}{d_{D,1}} \right). \quad (1.20)$$

Представим $U_{e,A}, U_{e,B}, U_{e,C}, U_{e,D}$ в виде векторов (рис. 1.19),

направленных в сторону точек, для которых рассчитана величина данной составляющей.

Начальной точкой для всех используемых систем принимается центр сечения цилиндра. В рассмотренном случае получаем систему четырех противоположно направленных «векторов». Величина этих «векторов» зависит от расстояния до рудного объекта, его положения и др.

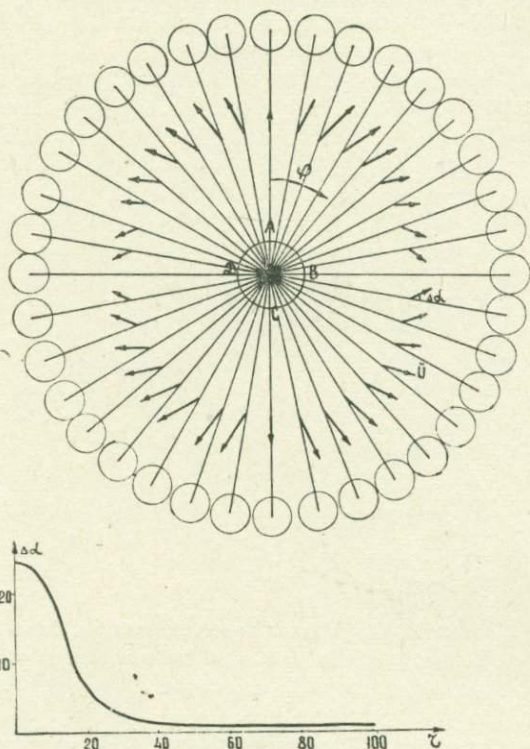


Рис. 1. 20. Зависимость общего «вектора» от φ и r .

На рис. 1. 20 представлен характер изменения общего «вектора» U , связанного с изменением положения и расстояния рудного объекта по отношению к горной выработке, для которой рассчитаны потенциалы — $U_{e, A}$, $U_{e, B}$, $U_{e, C}$ и $U_{e, D}$.

При $\varphi = 0$ и 180° общий «вектор» направлен в сторону рудного объекта, т. е. совпадает с направлением оси поляризации рудного объекта и имеет наибольшую величину. Когда положение и ось поляризации рудного объекта взаимно перпендикулярны ($\varphi = 90$ и 270°), величина общего «вектора» равна нулю. Для всех остальных положений рудного объекта по отношению к горной выработке угол между общим «вектором» и осью поляризации больше, чем угол между положением и осью поляризации рудного объекта.

В интервале $\varphi = 0—20^\circ$ величина общего «вектора» возрастает, затем уменьшается и при $\varphi = 90^\circ$ принимает нулевое значение. При расположении рудного объекта выше горизонта наблюдения, на небольшом расстоянии от горной выработки, и при $\varphi = 70—90$ и $290—270^\circ$ общий «вектор» U направлен вниз, а при расположении рудного объекта ниже горизонта наблюдения в интервалах $\varphi = 90—110$ и $250—290^\circ$ общий «вектор» потенциала направлен вверх.

По полученной кривой $\Delta\alpha = f(r)$ (рис. 1. 20) отклонение общего «вектора» от положения рудного объекта наибольшее при малых зна-

чениях d и в интервалах $\varphi = 10-40^\circ$. С увеличением расстояния источника поля от горной выработки отклонение общего «вектора» U от положения рудного объекта уменьшается и при $d > 60$ м становится малым.

Так, полиметаллическая рудная линза 11 Ахтальского месторождения имеет падение в сторону правой стенки штрека 1 (рис. 1.21). Потенциал естественного поля рудной линзы изучен по четырем про-

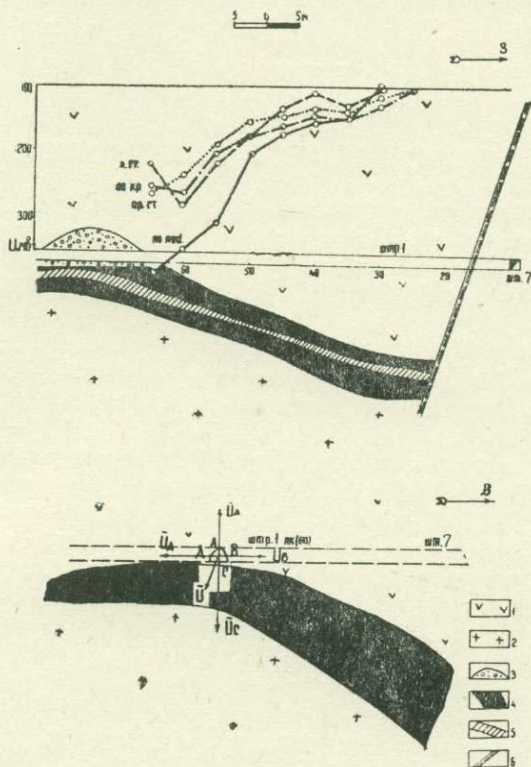


Рис. 1. 21. Определение направления положения линзы 11 Ахтальского месторождения по отношению к штреку 1 горизонта штольни 7.

1—порфириты; 2—кварц-порфиры; 3—отработанный участок; 4—полиметаллическая руда; 5—баритовая руда; 6—тектонические нарушения.

филям — по кровле, подошве и стенкам (А, В, С, D) горной выработки. По всем четырем профилям получены отрицательные аномалии, характеризующиеся разными величинами. Большие значения потенциала получены по левой стенке и подошве, которые расположены сравнительно близко к отрицательному полюсу рудной линзы. Меньшие значения потенциала получены по правой стенке и кровле, которые расположены с противоположной стороны горной выработки по отношению к верхней части линзы. Большие расхождения значений аномалий по разным стенкам горной выработки обусловлены двумя факторами: а) различными расстояниями профилей от источника; б) сгущением токовых линий у ближней стены и их разрежением у противоположной [118].

По экстремальным значениям потенциала (пикет 60) составлен общий «вектор», который указывает направление положения отрицательного полюса линзы 11.

ГЛАВА 2

МЕТОД ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Идея использования вызванной поляризации (ВП) руд с геологическими целями впервые была высказана К. Шлюмберже в 1912 г. В 20-х гг. К. Шлюмберже и его сотрудники явление вызванной поляризации горных пород применяли с целью каротажа нефтяных скважин [153].

В 30-х гг. геофизики разных стран пытались найти способы регистрации эффекта ВП в полевых условиях, однако из-за несовершенства применяемой аппаратуры и методики эксперименты не дали положительных результатов [116, 170].

Интересные исследования вызванной поляризации сульфидов проводились Е. А. Сергеевым и Н. Н. Рагулиным. Они установили характер зависимости ВП от плотности поляризующего тока, времени его пропускания, минерального состава руд и вмещающих пород.

В послевоенные годы проф. В. Н. Дахновым была разработана методика измерения полей ВП в скважинах [55]. В 50-х гг. в Московском нефтяном институте и в институте ВНИИГеофизика было дано теоретическое объяснение явлению ВП [55].

В 1948 г. Г. П. Саковцевым и А. С. Поляковым проводились опытные полевые наблюдения на Урале. При этом А. С. Поляковым был сделан вывод о необходимости применения длительной зарядки и большой силы тока [92].

Полевые работы, выполненные в 1952—1953 гг. на месторождениях Рудного Алтая Ю. С. Рыссом и В. А. Комаровым, подтвердили возможность получения значительных аномалий ВП над рудными телами. Ю. П. Булашевич теоретически оценил возможную роль вкрапленности в создании полей ВП [27]. Дальнейшая разработка метода ВП в ВИТРе проводилась под руководством В. А. Комарова.

В 1959—1963 гг. институтами ВИТР, ВНИИГеофизика, ВИРГ и Мытищинским приборостроительным заводом разработаны и выпущены станции ВП-59, ВПО-62, ВПП-67 и ВПС-63. Одновременно был разработан скважинный вариант метода для обнаружения глубокозалегающих месторождений [121]. Благодаря усилиям В. А. Комарова метод ВП получил широкое применение при наземных и скважинных исследованиях.

Значительный вклад в решение научных вопросов метода ВП внесли И. И. Рокитянский, А. Ф. Постельников, В. В. Кормильцев, Б. И. Геннадиник, А. П. Карасев, С. В. Бадалян и др.

Благодаря работам Г. В. Астраханцева, Р. В. Улитина, В. П. Мельникова, А. Ф. Кондратенко и Г. Я. Шайдурова в Советском Союзе развивается метод ВП с использованием переменного тока.

Большой интерес к методу ВП проявляется за рубежом [158, 160, 164, 172].

В настоящее время метод ВП стал важным средством поисков полезных ископаемых с поверхности земли и со скважин наземного бурения. Одновременно бурно развиваются исследования методом ВП в подземных горных выработках и скважинах подземного бурения, проводимые автором этих строк под руководством А. Г. Тархова с 1964 г.

2.1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОДЗЕМНОГО ВАРИАНТА МЕТОДА ВП

Роль концентрации электроннопроводящих минералов. Для установления связи между значениями поляризуемости руд и горных пород и содержанием в них электроннопроводящих минералов были подвергнуты минералогическому анализу шлихи образцов с известными параметрами η . Изучалось 119 образцов горных пород и руд различных рудных месторождений Армянской ССР, из которых 75 представляли массивные, густо вкрапленные, прожилково-вкрапленные, прожилково-жилые и бедно вкрапленные рудные образцы с содержанием в них количества электроннопроводящих минералов свыше 1%, а 44 — различные вмещающие породы преимущественно ультраосновного и, частично, основного и кислого составов с бедной вкрапленностью сульфидов, окисей железа и хрома, а также барита, хромита и антимонита. Общее содержание количества электроннопроводящих минералов в каждом образце этой группы не превышало 1% [11].

Связь доли поляризуемости, обусловленной электроннопроводящей вкрапленностью, с концентрацией последней определяется формулой:

$$\eta = \frac{\beta \xi}{1 + \beta \xi}, \quad (2.1)$$

где ξ — объемная концентрация вкрапленности;
 β — коэффициент, зависящий от удельного сопротивления, размеров, состава электроннопроводящих включений, а также от времени зарядки и разрядки.

По данным измерений на 75 рудных образцах β изменяется от 0,2 до 4,4, что неплохо согласуется с данными других районов страны. Исследования образцов различных пород и вкрапленных сульфидных пород показали [68], что при временах зарядки $t=3$ мин и снятия отсчета $t=0,5$ сек наиболее вероятные пределы изменений статистически находятся между 1 и 4,5. Среднее значение β для медноколчеданных руд Закавказских месторождений оказалось равным 2,6 [69], для медноколчеданных руд Южно-Уральского месторождения — 2,5 [149], для полиметаллических руд таджикских месторождений — 1,45; 3,1 и 4,5 [19].

При сопоставлении среднего значения β для месторождений Армении с литературными данными отмечается следующее соотношение этих величин: для медноколчеданных месторождений 2,5 (Урал); 2,6 (Грузия) и 2,7 (Армения); для полиметаллических месторождений 1,45; 3,1 и 4,5 (Таджикистан) и 2,6; 2,9 и 4,0 (Армения) [68]. При этом среднее значение коэффициента β по всем рудным месторождениям Армянской ССР равно 2,8 (из 75 определений), что незначительно отличается от приводимого ВИТРОМ среднего значения коэффициента β — 2,6 из 33 определений [69]. На рис. 2.1 приведена зависимость поляризуемости руд с вкрапленным и прожилково-вкрапленным орудением восьми месторождений Армянской ССР от содержания в них электроннопроводящих минералов до 20% при $\beta=5$, вычисленная по формуле (2.1). Здесь наблюдается некоторая связь между значениями η и ξ , которая может быть объяснена тем, что при сравнительно

низких содержаниях ξ (до 20%) основную роль в повышении η играет объемная поляризация вкрапленных руд.

На рис. 2.2 изображена диаграмма сравнительной роли электроннопроводящих минералов в поляризуемости руд колчеданных месторождений Армянской ССР. По оси ординат представлено отношение

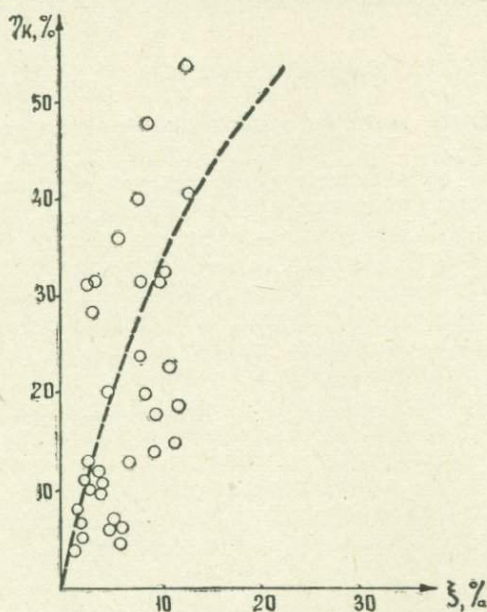


Рис. 2.1. Зависимость поляризуемости руд месторождений Арм. ССР от объемного содержания электроннопроводящих минералов.

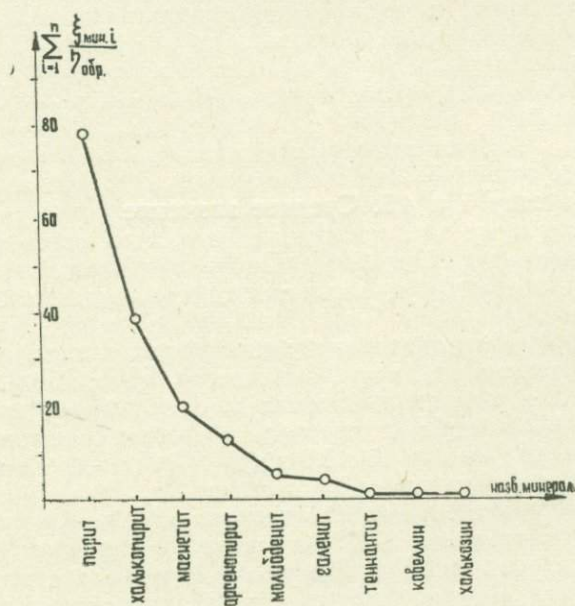


Рис. 2.2. Диаграмма сравнительного участия электроннопроводящих минералов в образовании аномалий поляризуемости колчеданных месторождений Армянской ССР.

объемного содержания электроннопроводящего минерала к значению поляризуемости образца, а по оси абсцисс — электроннопроводящие минералы.

Поляризуемость пород, содержащих электроннопроводящие минералы в количествах не более 1%, колеблется в широком диапазоне (рис. 2.3).

Согласно точечной диаграмме изменения поляризуемости образцов при содержании в них электроннопроводящих минералов до 1% отмечается, что лишь 60% всех образцов более или менее могут удовлетворять теоретическим положениям относительно связей между η и ξ . При этом создается поляризуемость, равная 4,5%. 25 случаев определения (рис. 2.3) попадают в интервал поляризуемости 0—5%. Остальным 19 случаям определения соответствуют закономерно убывающие высокие значения поляризуемости. Это можно объяснить присутствием акцессорного магнетита в образцах ультраосновных пород (хотя шлиховым анализом он не выявлен) [117].

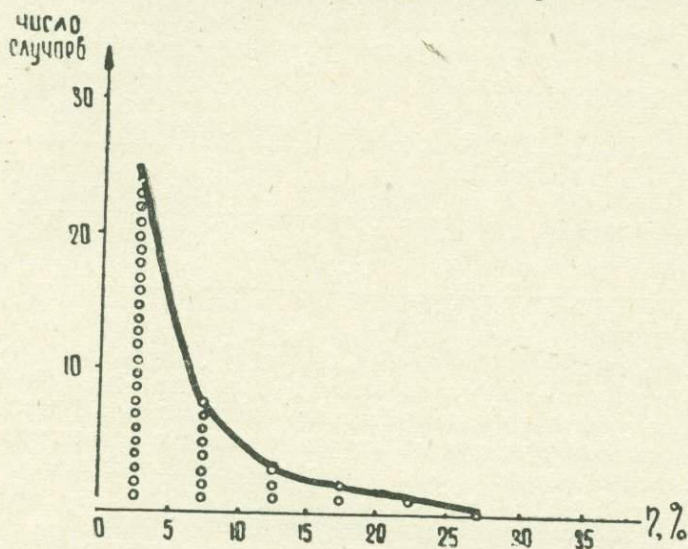


Рис. 2.3. Точечная диаграмма изменения поляризуемости образцов, при содержании в них электроннопроводящих минералов до 1%.

Роль влажности, пористости и трещиноватости пород. При изучении физических параметров поляризуемости η и сопротивления ρ в лабораторных условиях и в естественном залегании были установлены некоторые качественные зависимости влияния влажности на эти свойства пород. Ввиду того, что при лабораторных измерениях и, тем более, в естественном залегании количество влаги измеряемого образца обычно не определяется, нами вводятся условные понятия «сухой» и «влажный», характеризующие лишь качественно степень относительной влажности породы.

Так, например, для Ахтальского месторождения при изучении изменения значений поляризуемости η и удельного электрического сопротивления ρ образцов полиметаллических руд в зависимости от влажности было установлено, что ρ сухих образцов в 1,5—2 и более раза больше, чем у влажных образцов. Между тем, значение η в подавляющем большинстве случаев у влажных образцов, как и следовало ожидать, оказалось повышенным. Другой пример: из 51 определения на образцах кварцевых альбитофиров, туфобрекчий и порфириров, со-

державших редкую вкрапленность сульфидов, в 40 случаях повышению влажности сопутствовало увеличение поляризуемости. Но при этом всегда с увеличением влажности образцов повышалась и электропроводность. Такой характер изменения значений поляризуемости согласуется с теоретическими положениями [69].

Планомерное изучение физических полей в подземных горных выработках позволили произвести четкую дифференциацию по поляризуемости тектонически измененных зон, трещин и рудоконтролирующих разломов от неизмененных пород. Породы, представляющие первую группу, характеризуются разрыхленностью, выветрелостью, трещиноватостью и, в некоторой степени, рудной минерализованностью. Все это, в конечном итоге, уменьшает сопротивление породы и, если в состав последней входят электроннопроводящие включения, увеличивает поляризуемость.

Исследования, проведенные на Ахтальском барит-полиметаллическом месторождении [60, 80], показали сравнительно высокое содержание элементов-индикаторов в зоне разлома дорудного происхождения по сравнению со средним содержанием в примыкающих к нему породах (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Содержание элементов-индикаторов			
Породы	Среднее содержание в %		
	Pb	Cu	Zn
Порфириты	0,003	0,003	0,025
Зона разлома	0,03	0,007	0,05

Другая таблица — 2.2 представляет сравнительную оценку поляризуемости и удельного электрического сопротивления полиметаллических и баритовых руд, рудовмещающих пород и зон нарушений, измеренных непосредственно в подземных горных выработках.

Таблица 2.2

Сопоставление результатов электрических свойств горных пород и руд и зон тектонических нарушений

Горные породы	Поляризуемость (τ) в %				Удельное электрическое сопротивление (ρ) в ом · м			
	к-во опр.	наименьшая	наибольшая	средняя	к-во опр.	наименьшее	наибольшее	среднее
Порфириты	128	0,2	6,0	2,2	109	$2,7 \times 10^2$	$9,7 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$
Кварцевые порфиры с различной степенью измененности	60	0,2	13,2	3,3	95	$0,8 \times 10^1$	$1,5 \times 10^3$	$1,9 \times 10^2$
Полиметаллические руды	43	3,2	30	11	30	$0,2 \times 10^1$	$3,8 \times 10^2$	$0,8 \times 10^2$
Баритовые руды	46	0,4	4,1	1,8	50	$2,0 \times 10^2$	$1,0 \times 10^4$	$1,9 \times 10^3$
Породы зон нарушений	55	0,6	44	7,5	83	$0,8 \times 10^1$	$1,0 \times 10^3$	$2,6 \times 10^2$

Как видно из таблицы, измененные породы в зонах нарушений по параметрам η и ρ занимают промежуточное положение между вмещающими породами и полиметаллическими рудами.

Вертикальная зональность рудных месторождений по поляризуемости. Представляет интерес сопоставление результатов изучения электрических свойств горных пород и руд, полученных при параметрических измерениях на различных горизонтах Зодского и Ахтальского месторождений.

По физико-химическим условиям, вещественному составу и степени окисления руды Зодского месторождения можно подразделить на три зоны [76]:

- 1) зона окисления, сложенная бурыми железняками с реликтами сульфидных руд;
- 2) зона частичного выщелачивания, представленная рудами;
- 3) зона первичных руд, представленная кварц-карбонатной породой с сульфидной минерализацией.

Результаты параметрических измерений, проведенных в пределах зон 2 и 3, показывают, что рудные тела зоны окисления отмечаются значениями поляризуемости и удельного электрического сопротивления примерно на полпорядка ниже, чем золоторудные тела и кварц-сульфидные породы зон первичных руд и вторичного выщелачивания.

На Ахтальском месторождении параметрическими измерениями установлено, что для кварцевых порфиров верхнего горизонта (шт. 7) среднее значение удельного электрического сопротивления в семь раз меньше, чем среднее значение ρ тех же пород нижнего горизонта. Объясняется это тем, что, в целом, породы горизонта штольни 7 более изменены и увлажнены, чем породы, расположенные на горизонте штольни 16. Из этого следует, что при интерпретации результатов электро-разведочных наблюдений по горным выработкам необходим всесторонний учет зональности и гидрогеологических особенностей месторождения.

Данные о связи электрических свойств рудных тел с химизмом рудничных вод, полученные для различных горизонтов месторождений Армянской ССР, приведены в табл. 2.3. Химизм вод (pH , SO_4^{--}) определялся с помощью полевой лаборатории ПЛАВ-1. По полученным данным можно заключить, что от верхних до нижних горизонтов сульфидных (Зод), полиметаллических (Ахтала), медно-молибденовых (Дастакерт) зон наблюдается закономерное повышение поляризуемости и, в ряде случаев, удельного электрического сопротивления. Аналогичная картина наблюдается у рудовмещающих пород Ахтальского (кварцевые порфиры) и Дастакертского (ороговикованные порфиры) месторождений. Повышение η обусловлено сменой интенсивно окисленных руд на глубине первичными сульфидами. Также наблюдается повышение с глубиной содержания сульфат-иона SO_4^{--} в пределах рудных зон. Тем самым подтверждается предположение А. А. Бродского [26] о том, что на изменение химического состава подземных вод оказывают влияние глубоко залегающие рудные тела. При этом основное значение имеет диффузионное передвижение в подземных водах сульфат-иона, меди и других тяжелых металлов от места их большей концентрации к меньшей, а также перемещение вод из одного горизонта в другой [111]. Установление дифференциации по электрическим свойствам горных пород и руд на различных горизонтах месторождения в зависимости от влажности и зональности должно учитываться при интерпретации данных подземных вариантов методов ВП и сопротивлений. Кроме того, наличие взаимосвязи между параметрами руд и физико-химическими условиями на различных горизонтах месторождения может способствовать получению дополнительных поисковых критериев.

Таблица 2.3

Изменение электрических свойств горных пород, руд и химизма рудничных вод с глубиной на различных горизонтах месторождений Армении

Горизонт	№ штолен	Рудные тела				Рудовмещающие породы				Рудничные воды			
		Поляризация в %		Уд. электрич. сопротивление в ом · м		Поляризация в %		Уд. электрич. сопротивление в ом · м		рН		SO ₄ [—]	
		к-во опр.	средн. знач.	к-во опр.	средн. знач.	к-во опр.	средн. знач.	к-во опр.	средн. знач.	к-во опр.	средн. знач.	к-во опр.	средн. знач.

Зодское золоторудное месторождение

2500	A	21	2,1	20	150	15	23	16	500	—	—	—	—
2447	1	38	2,4	60	130	—	—	—	—	10	6,7	10	4
2406	97,98	1,5	2,5	25	150	—	—	—	—	3	6,0	3	25
2366	5,47	25	10,0	30	120	29	2,6	28	3250	30	6,5	30	35
2266	25	51	7,2	50	680	29	1,3	33	524	11	6,7	11	88
2175	40	40	9,5	40	500	5	2,2	45	770	15	6,5	15	275

Ахталское барит-полиметаллическое месторождение

725	7	6	8,0	7	40	15	2,3	18	70	7	5,8	6	450
673	18	28	10,5	19	80	—	—	—	—	—	—	—	—
755	16	10	20,0	5	73	38	3,0	13	150	17	5,8	16	610

Теоретические расчеты и моделирование полей ВП применительно к условиям подземных работ. В специальной литературе имеется множество расчетов полей ВП для тел различной формы [59, 68, 71, 95, 117, 157], которые могут быть пригодны для описания аномалий, ожидаемых в горных выработках, если считать размеры поперечного сечения горной выработки небольшими по сравнению с расстоянием до объекта источника аномалии ВП или по сравнению с размерами этого объекта и не учитывать влияния дневной поверхности.

Используем известные формулы расчета полей ВП над электронно-проводящими телами различных форм и размеров и для различных глубин залегания тел при конкретных значениях электрических параметров вмещающих пород и руд изучаемых нами месторождений Армянской ССР.

Эти расчеты позволяют теоретически установить глубинность метода ВП при конкретных физико-геологических условиях. Для простоты рассмотрим поле ВП шара.

При внешнем однородном поле в среде с удельным сопротивлением ρ_1 и поляризуемостью η_1 в присутствии шара с радиусом a , удельным сопротивлением ρ_2 и поляризуемостью η_2 кажущаяся поляризуемость для градиент-установки приближенно равна [117]:

$$\eta_k = \eta_1 + \frac{6\mu\eta^*a^3}{(2\mu + 1)^2r^3} (1 - 3\cos^2\theta), \quad (2.2)$$

где $\eta^* = \eta_2 - \eta_1$ — избыточная поляризуемость шара;

$\mu = \frac{\rho_2}{\rho_1}$. r — расстояние от центра шара до точки наблюдения;

θ — угол между направлением внешнего поля и радиус-вектором \vec{r} .

В качестве исходных данных для параметров электрических свойств вмещающей среды и руд послужили результаты параметрических измерений η и ρ , проведенных непосредственно в естественном залегании (табл. 2.4).

На рис. 2.4 представлены результаты расчетов полей ВП над шаром для месторождений Ахтала, Шамлуг, Дастакерт и Зод.

Таблица 2.4

Средние значения электрических свойств горных пород и руд, использованные при теоретических расчетах

Месторождение	Горные породы и руды	Вмещающая среда		Р у д а	
		η_1	ρ_1	η_2	ρ_2
Ахтала	Порфириты	2,2	2000	—	—
	Полиметаллическая руда	—	—	11	80
Шамлуг	Туфобрекчии порфиритов	1,2	390	—	—
	Медноколчеданная руда	—	—	11	20
Дастакерт	Ороговикованные порфириты	4,9	980	—	—
	Медномolibденовая руда	—	—	17	460
Зод	Габбро	2,0	800	—	—
	Золоторудные тела	—	—	7,8	340

Выполнялись также расчеты полей ВП вытянутых тел с произвольным сечением. В качестве таких тел были взяты поперечные разрезы полиметаллической линзы 11 (месторождение Ахтала) по штрекам 1—3 штольни 7. Для вычисления аномалии ВП от некоторого тела,

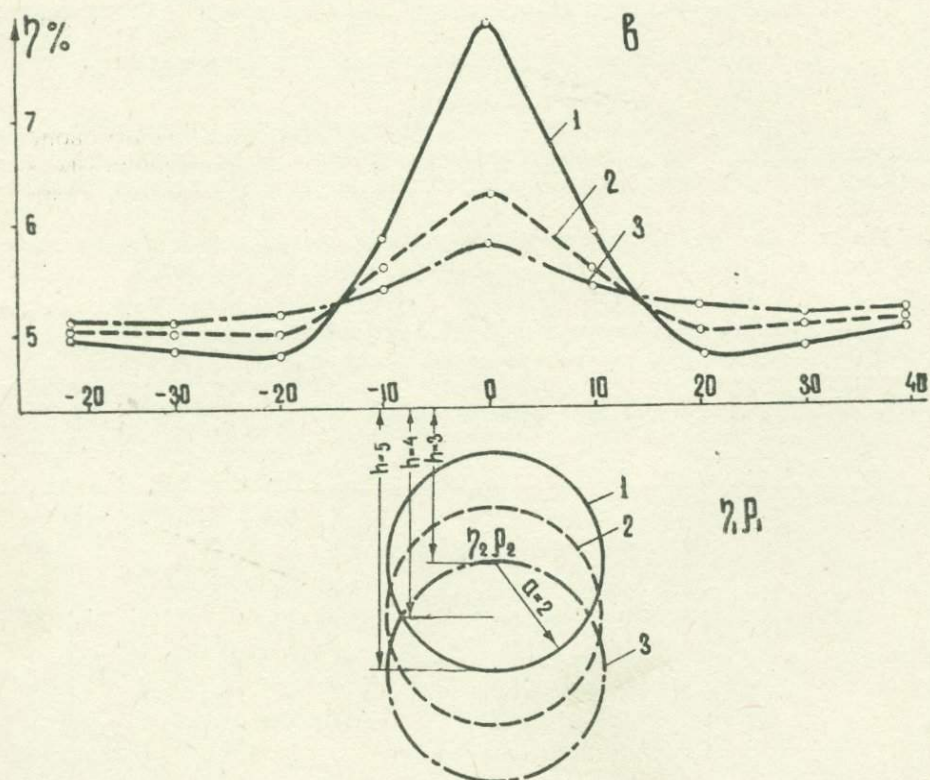
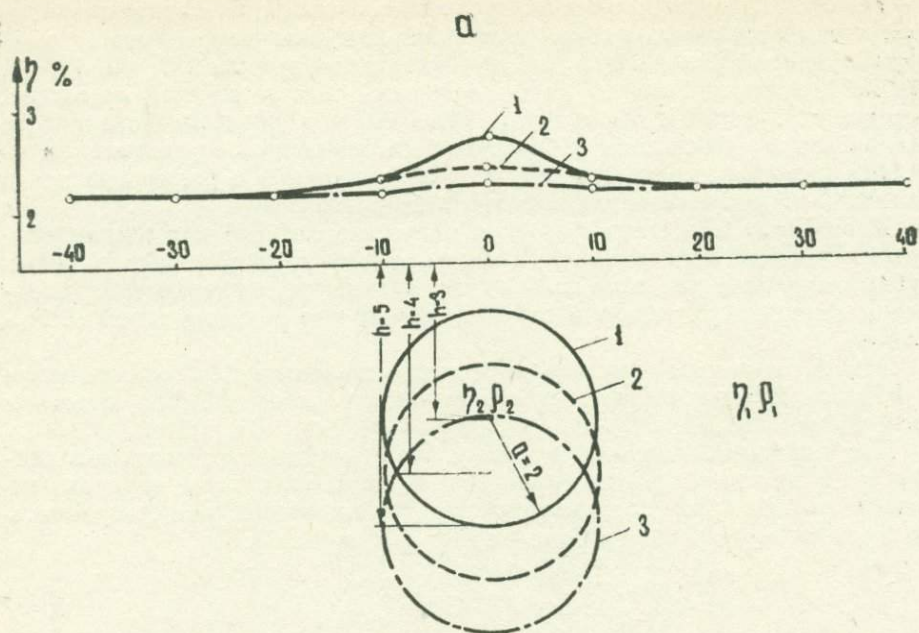
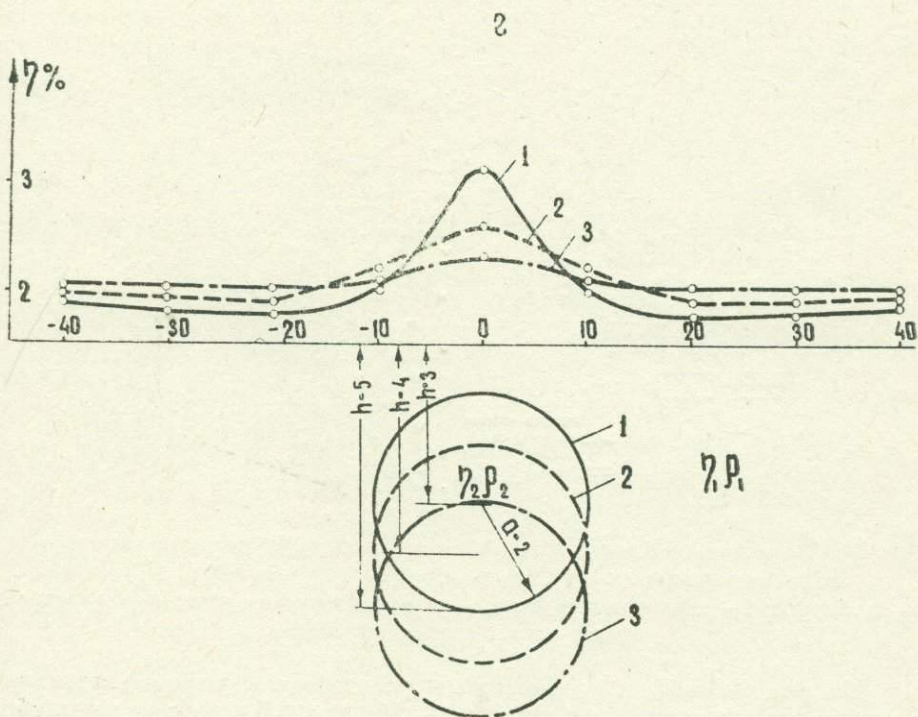
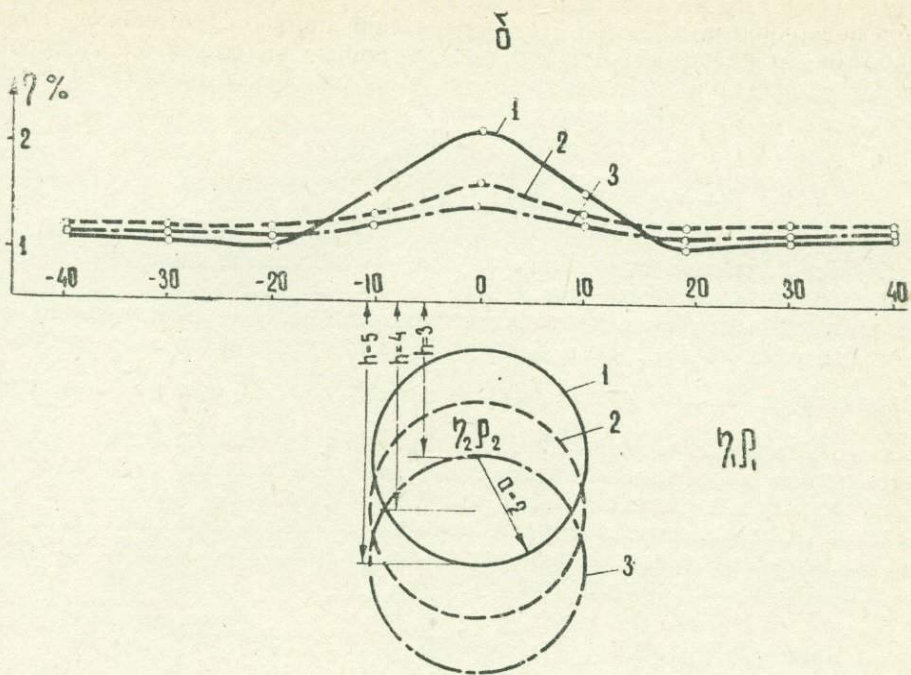


Рис. 2.4. Теоретические кривые полей ВП над шаром для рудных месторождений Ар-



мянской ССР. а—Ахтала; б—Шамлуг; в—Дастакерт; г—Зод.

поперечное сечение которого не очень мало, следует предварительно с помощью палетки «П» [68, 71] разбить тело на части с постоянными значениями напряженности первичного поля.

Полная величина аномалии ВП вычисляется как алгебраическая сумма эффектов ВП всех частей тела:

$$V = \frac{0.01L^2}{4\pi} \sum_{i=1}^n \frac{T_i N_i}{d_i^2}, \quad (2.3)$$

где T_i есть функция отношения $\frac{R_i}{d_i}$ (R_i — расстояние центральной точки каждой части тела до точки наблюдения и d_i — расстояние от источника тока до центральной точки каждой части тела). Величина T_i находится с помощью графиков зависимости T от $\frac{R}{d}$ при различных углах Φ .

Входящая в формулу (2.3) величина N_i равна разности «положительных» и «отрицательных» точек, вычисленных по палетке Д. С. Микова [71] для каждой части тела. Формула (2.3) рассчитана для полного пространства. В случае, если питающие и приемные электроды располагаются на поверхности земли, аномалию ВП, вычисленную по этой формуле, следует удвоить.

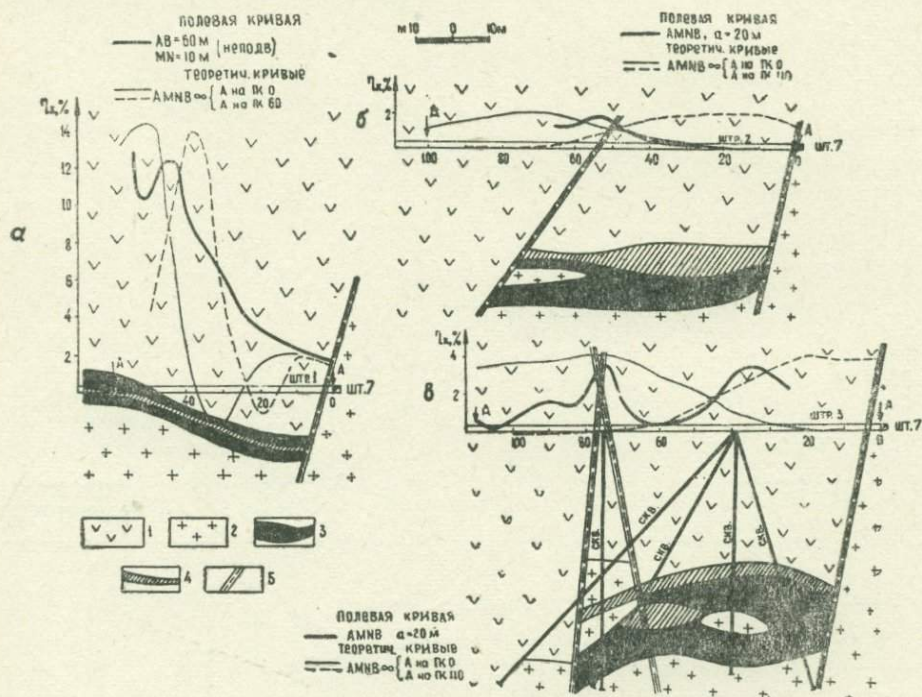


Рис. 2.5. Теоретические кривые полей ВП над вытянутыми рудными телами Ахтальского месторождения с установками срединного градиента и Веннера.

1—порфиры; 2—кварцевые порфиры; 3—полиметаллические руды; 4—баритовые руды; 5—тектонические нарушения.

На рис. 2.5, а, б, в представлены результаты сравнения полевых и теоретически рассчитанных кривых γ_k . На рис. 2.5, а в случае неглубоко залегающего рудного тела (на одном конце оно обнажается) отмечается удовлетворительное совпадение теоретической и эксперименталь-

ной кривых (установка—срединный градиент, $AB=60$ м). Представленные на рис. 2.5,б,в сопоставления экспериментальных и расчетных графиков γ_k свидетельствуют об ограниченных возможностях установки симметричного электропрофилеирования. Как показывают расчеты, рудная линза, залегающая на глубине от 30 до 40 м, из-за ограниченных размеров горной выработки (до 100 м) совершенно не отделяется на теоретических кривых (пологие пунктирные линии). Отдельные искажения, как следовало ожидать, отвечают тектоническим нарушениям, а также вееру скважин.

Наряду с теоретическими расчетами проводились также лабораторно-экспериментальные работы по изучению характера полей ВП над моделями электроннопроводящих тел при подземных наблюдениях. При этих исследованиях изменялись лишь геометрические размеры изучаемой геологической обстановки—вмещающей среды и возмущающего объекта. Что же касается электрических параметров, то они, в основном, характеризовались значениями, встречающимися в полевых условиях.

В опубликованной литературе отсутствуют сведения о моделировании электроразведочных наблюдений по подземным горным выработкам методом вызванной поляризации. Для моделирования наземных и скважинных вариантов метода ВП до сих пор применялись обычно баки с песком, в которых решались различные методические задачи [18, 73, 150].

Специфика работ как при скважинном, так и при рудничном моделировании (с использованием «модельных» штолен) методом ВП заключается в изучении характера полей ВП в условиях полного пространства. Эта основная особенность и вошла в содержание работ по моделированию электроразведочных задач методом ВП с использованием горизонтально расположенной выработки (штольни).

Экспериментальные исследования проводились в баке размерами $2 \times 1,5 \times 1$ м, заполненном влажным песком с поляризуемостью от 1,6 до 2,2% (рис. 2.6) и удельным электрическим сопротивлением 300—350 ом·м. Модель рудного тела имела форму параллелепипеда размерами 200, 100 и 50 мм и была изготовлена из смеси графита и цемента. Поляризуемость этой смеси составляла 52%.

В качестве модели горной выработки использовалась асбестоцементная труба, помещенная на определенной глубине объемного бака с песком (рис. 2.7). По длине трубы (1) вырезано окно. На концах трубы с внутренней стороны установлены подпорки (6) с отверстиями для оси. Подпорки изготовлены из изоляционного материала. В подпорках имеется паз, где помещен палец для ограничения поворота оси (4). Ось выполнена из изоляционного материала и служит как направляющая для движка (3). Металлическая линейка (5), на которой имеются отметки длины, насажена на ось скользящей посадкой. На линейке жестко закреплен движок (3). Последний имеет форму втулки. С одной стороны выступающей части просверлены два отверстия, в которых насажены приемные электроды M и N (2). Электроды заполнены раствором медного купороса и соединены с измерительным прибором тонкими медными проводами, помещенными в раствор. На концах приемных электродов имеются отверстия, через которые во время опускания электродов в песок выходит медный купорос и осуществляется контакт между песком и электродами. Расстояние между приемными электродами всегда постоянное. Питание установки осуществляется через конусообразные питающие электроды A и B (контакты 7), которые закреплены на концах трубы по оси окна и соединены с питающей установкой.

Как это видно из описания подземной моделирующей установки,

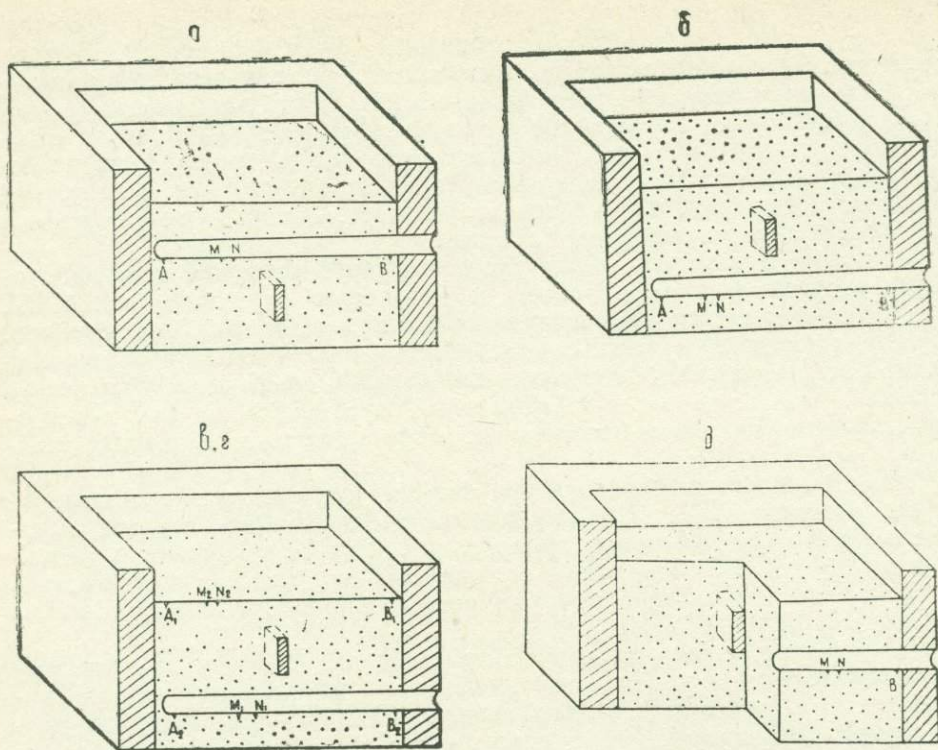


Рис. 2.6. Различные схемы модельных исследований по подземному варианту метода вызванной поляризации.

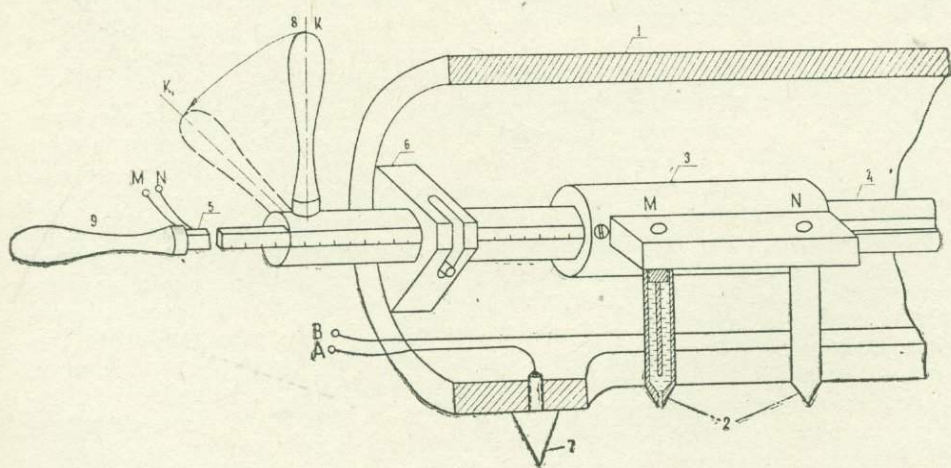


Рис. 2.7. Установка для исследований подземным вариантом метода вызванной поляризации.

1—асбоцементная труба, изображающая модель штольни (или подземной горной выработки); 2—неполяризующиеся приемные электроды; 3—движок для перемещения приемных электродов; 4—направляющая ось для движка; 5—металлическая линейка; 6—подпорки; 7—конусообразные питающие электроды; 8—ручка для поворота; 9—рукоятка для перемещения движка.

она рассчитана на производство работ по схеме срединного градиента. При некотором изменении возможны наблюдения также по схеме профилирования, когда питающие и приемные электроды расположены на разных горизонтах.

Расстояния между питающими и приемными электродами соответственно равны 1250 и 50 мм, шаг установки—50 мм. Применяемые размеры «горной выработки» и наблюдаемой установки соответствуют в натуре штольне с сечением 2,5 м при $AB=25$ м и $MN=1$ м, т. е. масштаб моделирования 1:20.

При производстве наблюдений использовалась измерительная часть электроразведочной станции ВП-59. В качестве поляризирующего источника применялись 1—2 батареи марки 69-ГРМЦ-6. При этом используемая сила тока не превышала 20 ма. Время зарядки 60 сек.

Условия моделирования соответствовали следующим вариантам работ.

I вариант. Использование одной горной выработки. Питающие и приемные электроды расположены на подошве последней. Рудное тело расположено: ниже подошвы, выше кровли и сбоку (рис. 2.6, а, б, д). Задача моделирования: поиски и оконтуривание рудного тела в околовыработочном пространстве, определение дальности исследований.

II вариант. Одновременное использование горной выработки и дневной поверхности. Питающие и приемные электроды расположены соответственно: на подошве горной выработки и на дневной поверхности и наоборот. Рудное тело расположено между горной выработкой и дневной поверхностью (рис. 2.6, в, г). Задача моделирования: поиски и оконтуривание рудного тела между выработкой и дневной поверхностью, определение глубинности исследований.

При использовании одной выработки в случае различного расположения рудного тела (ниже подошвы, выше кровли и сбоку) (рис. 2.8, а, б, в) отмечаются следующие закономерности.

Когда тело находится ниже подошвы, то аномальный эффект от тела при глубине залегания верхней кромки, равной 50 мм, достигает 10,2%. При дальнейшем погружении, до глубины 200 мм, этот эффект составляет всего 2,2%. Таким образом было установлено, что при отношении глубины залегания верхней кромки рудного тела и величины разности питающих электродов АВ, равном 1:6, аномальный эффект от рудного тела становится весьма малым.

Когда тело находится выше кровли, то аномалия от тела при глубине залегания нижней кромки его от кровли, равной 50 мм, с учетом диаметра горной выработки, равного 120 мм, достигает 4,6%. При дальнейшем удалении тела от горной выработки, на расстоянии, равном 100 мм ÷ 120 мм (диаметр выработки), аномальный эффект от тела составляет 2,2%. Таким образом, здесь также подтверждается закономерность, отмеченная выше, сводящаяся к тому, что при отношении глубины залегания рудного тела к разности питающих электродов, равном 1:6, аномальный эффект исчезает.

Когда тело находится сбоку от горной выработки на расстоянии 100 м, аномалия достигает 4,0%. При дальнейшем удалении тела от стены горной выработки аномалия уменьшается и составляет всего 1,6% при расстоянии от ближней грани его, равном 200 мм ÷ 60 мм (половина диаметра выработки). С небольшим отклонением здесь также подтверждается уже отмеченная закономерность.

При использовании горной выработки и дневной поверхности, в случае различного расположения рудного тела по отношению к питающим и приемным электродам (рис. 2.9, а, б), отмечаются следующие закономерности.

Когда питающие электроды установлены на дневной поверхности, а приемные электроды передвигаются по подошве выработки, то расположенное между ними рудное тело при расстоянии от линии наблюдений 50 мм ÷ 120 мм (диаметр горной выработки) и от питающих электродов на 200 мм создает аномальный эффект в 3%. Дальнейшее удале-

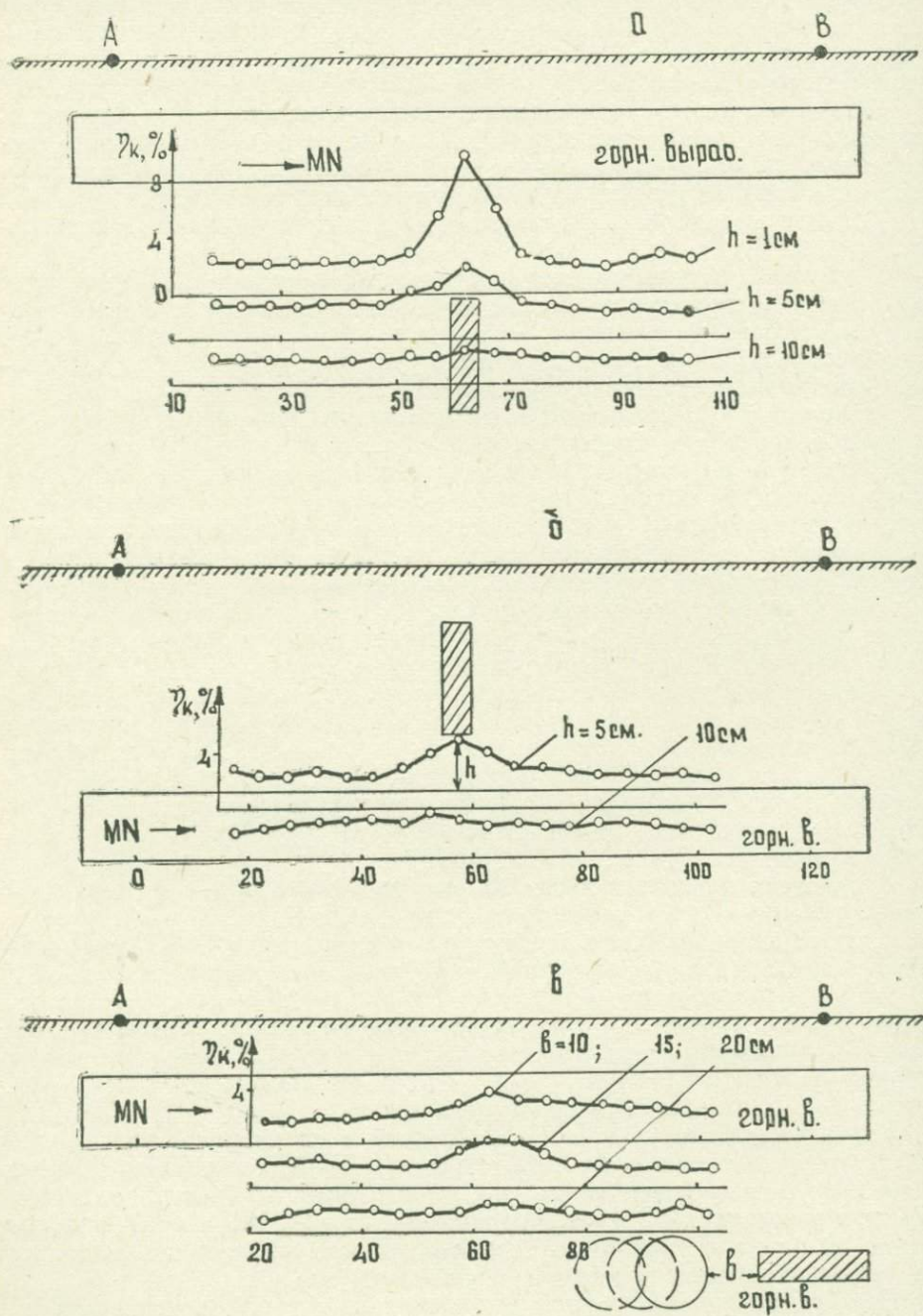


Рис. 2.8 Результаты модельных исследований методом ВП с использованием одной горной выработки при различном расположении рудного объекта: ниже (а), выше (б) и сбоку (в) выработки.

ние рудного тела от линии наблюдений на 50 мм и приближение к дневной поверхности приводит к уменьшению аномального эффекта до 2,1%.

Когда питающие электроды установлены на подошве, а приемные электроды передвигаются по дневной поверхности, то расположенное между ними рудное тело при расстоянии от линии наблюдений 50 мм

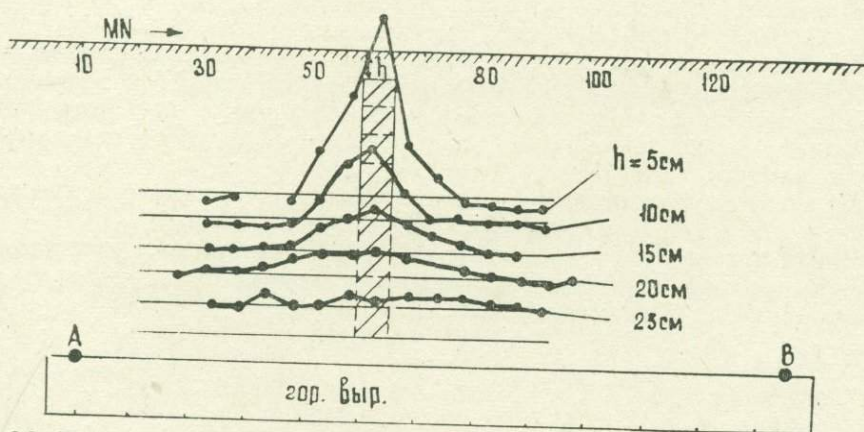
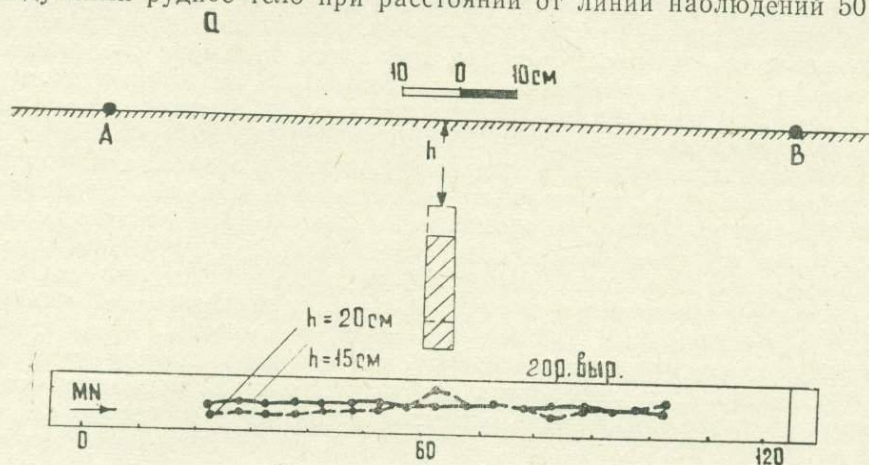


Рис. 2.9. Результаты модельных исследований методом ВП с одновременным использованием горной выработки и дневной поверхности.

создает аномальный эффект около 15%. Дальнейшее удаление рудного тела от линии наблюдений до 250 мм и приближение к подошве горной выработки приводит к уменьшению аномального эффекта до 2,3%. Таким образом, рудное тело, равное по длине примерно одной трети расстояния между горизонтами, создает заметный аномальный эффект при расположении его от линии наблюдений на расстоянии до 200 мм.

На основании результатов исследований можно сделать следующие выводы.

При использовании одной горной выработки (установка срединного градиента), когда питающие и приемные электроды расположены на подошве выработки, а электроннопроводящее тело находится соответственно: ниже подошвы, выше кровли и сбоку от выработки, аномаль-

ный эффект от тела во всех трех случаях сохраняется при отношениях расстояния ближней стороны тела от линии наблюдений к разному питающих электродов более, чем 1:6.

При одновременном использовании горной выработки и дневной поверхности, когда питающие и приемные электроды расположены на разных горизонтах (на дневной поверхности и на подошве выработки), а рудное тело — между горизонтами, аномальный эффект от тела сохраняется при условии, если оно, при длине примерно в одну треть расстояния между горизонтами, расположено по отношению к линии наблюдений на расстоянии, не превышающем 1/6 части разности питающих электродов.

Результаты модельных исследований дают, в основном, качественное представление о характере явлений и весьма приближенно устанавливают количественные закономерности. Кроме того, они позволяют разработать способы истолкования полевых наблюдений, особенно в сложной обстановке, когда теоретические расчеты затруднительны.

Принципы построения палеток подземных зондирований методом ВП. В опубликованных работах нет сведений о теоретических расчетах для изучения горизонтально-слоистых структур из подземных выработок. Имеющаяся литература для изучения полей вызванной поляризации в средах с плоскими границами относится к наземным наблюдениям [21, 31, 68, 71, 117, 155, 156]. В этих расчетах принято, что все электроды находятся на поверхности земли. Построены теоретические палетки электрических зондирований ВП из скважин для пласта «бесконечной» мощности (контакта двух сред) и пласта конечной мощности, вдоль которого проходят скважины [122].

Что касается подземного электрического зондирования для метода сопротивлений, то публикации также весьма ограничены [30, 46].

Необходимость построения палеток для подземного электрического зондирования по методу ВП безусловно велика, хотя без допущения больших погрешностей в некоторых частных случаях для интерпретации подземных кривых можно пользоваться и обычными (наземными) палетками [146].

Нами было проведено вычисление палеток подземного зондирования по методу ВП для двухслойной структуры.

В качестве исходной формулы послужило выражение, полученное В. К. Хмелевским [146] для кажущегося удельного электрического сопротивления над контактом разнородных пород:

$$\rho_k = \rho_1 \left\{ 1 + K_{12} \frac{\left(\frac{L}{H}\right)^3}{\left[\left(\frac{L}{H}\right)^2 + 4\right]^{3/2}} \right\}, \quad (2.4)$$

где ρ_1 — удельное электрическое сопротивление первого слоя;
 L — расстояние центра приемной линии до источника тока;
 H — расстояние до контакта разнородных пород от оси выработки.

$K_{12} = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$, где ρ_2 — удельное электрическое сопротивление второго слоя.

После несложных преобразований формулы (2.4) можно найти

значения $\frac{\rho_2}{\rho_k}$ и $\frac{\partial \rho_k}{\partial \rho_2}$:

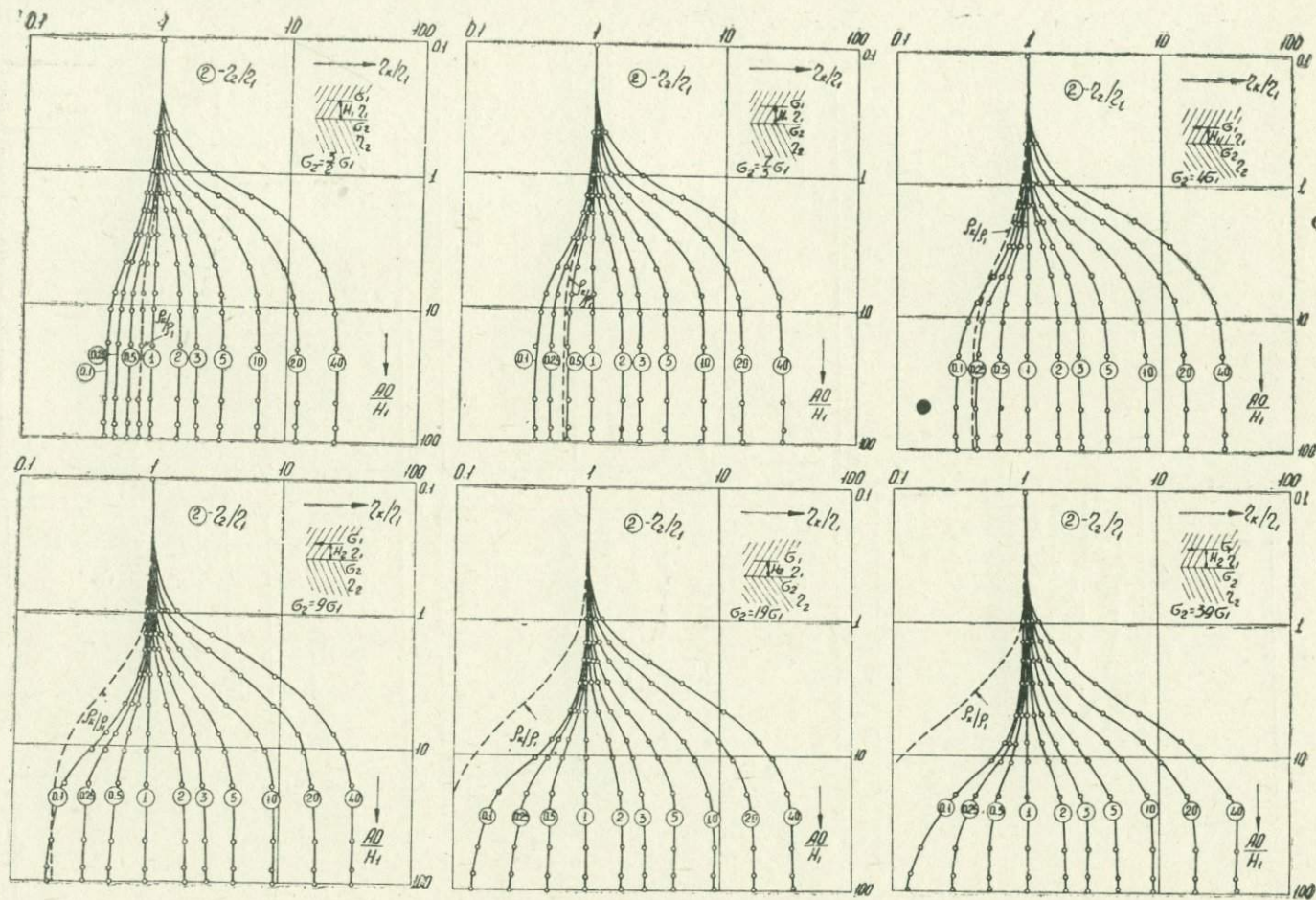


Рис. 2.10. Палетки ПЭЗ ВП при $\sigma_2/\sigma_1 < 1$.

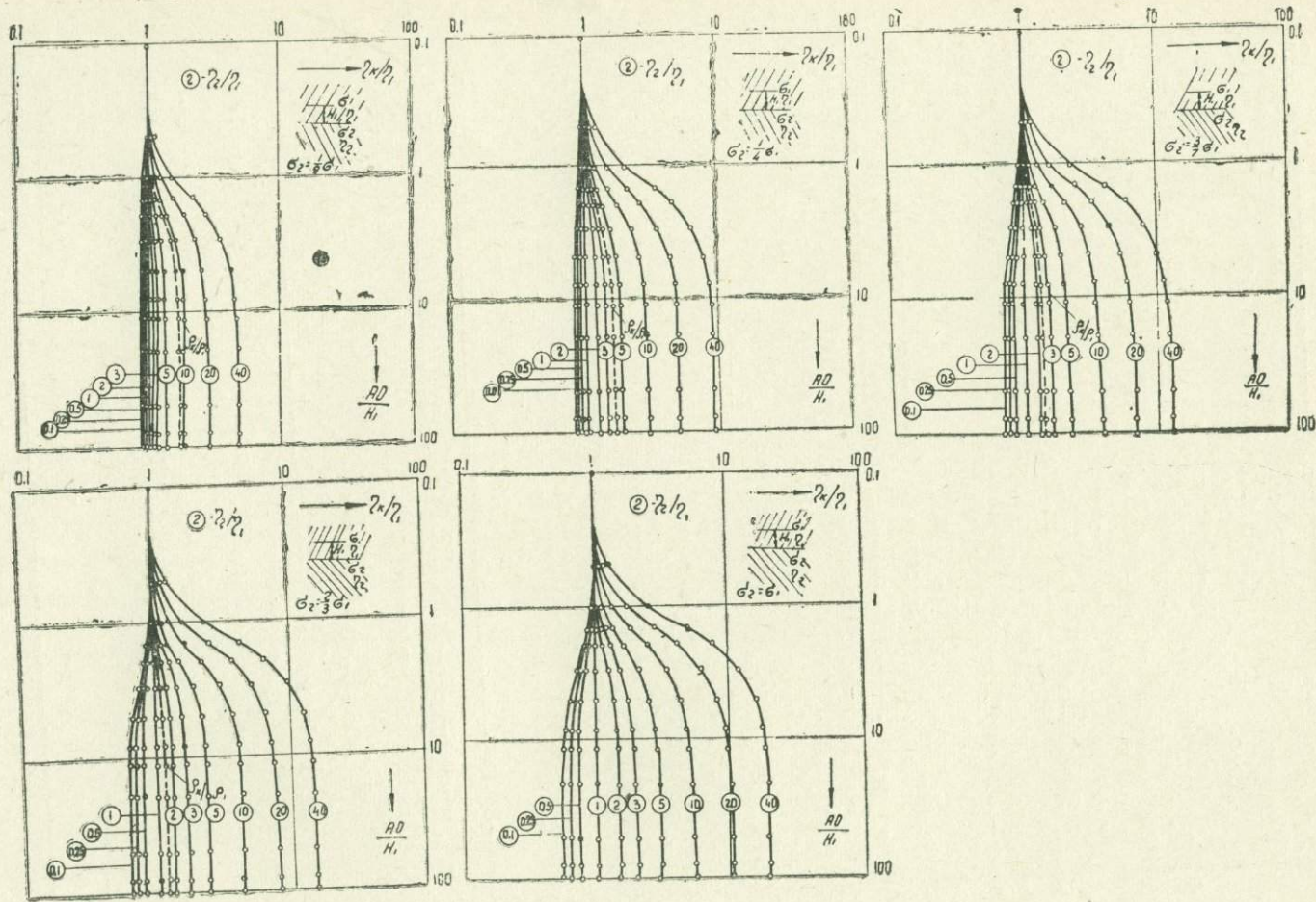


Рис. 2.11. Палетки ПЭЗ ВП при $\sigma_2/\sigma_1 \geq 1$.

$$\frac{\rho_2}{\rho_k} = \frac{1}{\mu + \mu \left\{ \frac{1 - \mu}{1 + \mu} \cdot \frac{(L/H)^3}{[(L/H)^2 + 4]^{3/2}} \right\}}; \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial \rho_k}{\partial \rho_2} = \frac{2 \cdot \frac{(L/H)^3}{[(L/H)^2 + 4]^{3/2}}}{\left(1 + \frac{1}{\mu}\right)^2}. \quad (2.6)$$

Затем, подставляя значения $\frac{\rho_2}{\rho_k}$ и $\frac{\partial \rho_k}{\partial \rho_2}$ в выражение

$$\Theta = \frac{\eta_k - \eta_1}{\eta_2 - \eta_1} = \frac{\rho_2}{\rho_k} \cdot \frac{\partial \rho_k}{\partial \rho_2}, \quad (2.7)$$

получим выражение для вычисления значения η_k при установке подземного зондирования:

$$\Theta = \frac{\eta_k - \eta_1}{\eta_2 - \eta_1} = \frac{\rho_2}{\rho_k} \cdot \frac{\partial \rho_k}{\partial \rho_2} = \frac{2\mu C}{(1 + \mu)[1 + \mu(1 - \mu)C]}, \quad (2.8)$$

$$\text{где } \mu = \frac{\rho_1}{\rho_2} \text{ и } C = \frac{(L/H)^3}{[(L/H)^2 + 4]^{3/2}}.$$

Преобразуя левую часть выражения (2.8), можно получить:

$$\frac{\eta_k}{\eta_1} = 1 + \left(\frac{\eta_2}{\eta_1} - 1\right)\Theta. \quad (2.9)$$

При расчете теоретических кривых принято, что выработка находится в среде с ρ_1 и η_1 . Палетки ПЭЗ-ВП рассчитаны для отношений поляризуемости пород:

$$\frac{\eta_2}{\eta_1} = 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 5; 10; 20; 40,$$

соответствующих одному из отношений сопротивлений этих же слоев:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \mu = 1/9; 1/4; 3/7; 2/3; 1; 3/2; 7/3; 4; 9; 19; 39.$$

При этом отношение L/H выбиралось равным: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 5,0; 8,0; 11; 20; 50; 80; 100 [68, 71].

На рис. 2.10 и 2.11 приведены палетки для подземного варианта ВЭЗ-ВП.

2.2. ИСКАЖАЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРИ РАБОТЕ МЕТОДОМ ВП В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Под землей наблюдаемые поля ВП осложняются выработками, влиянием дневного рельефа, шахтно-рудничного металлического оборуования (рельсы, водопроводные, воздухопроводные трубы и т.п.), близостью токонесущих установок.

Влияние горных выработок. Вопросу влияния горной выработки на величину кажущегося удельного электрического сопротивления посвящено несколько работ [20, 86, 110, 147].

Как известно, горную выработку можно представить как среду с бесконечно высоким электрическим сопротивлением. Влияние выработки на результаты наблюдений методом сопротивлений будет зависеть

от отношения диаметра d к полуразносу питающей установки AO . Кажущееся удельное сопротивление становится равным сопротивлению пород, окружающих горную выработку, только тогда, когда $AO \geq 10d$ [86, 147].

Влияние соседней горной выработки, расположенной на некотором удалении и перпендикулярно к линии наблюдений, зависит от отношения расстояния выработки H и ее диаметра d . При установке подземного электрического зондирования ПЭЗ наличие горной выработки, находящейся на расстоянии $H < 2d$ от исследуемой выработки, искажает кривую ПЭЗ, заснятую при малых разносах. При проведении подземного симметричного профилирования влияние соседних выработок заметно только в случае $\frac{AB}{2} \geq (5-7)d$ при глубине залегания $H < 2d$ [20, 110].

Влияние горной выработки на величину кажущейся поляризуемости ранее не изучалось. Нами проводились исследования для трех возможных случаев расположения выработки и линии наблюдения:

- 1) выработка является линией наблюдения;
- 2) выработка пересекается с линией наблюдения;
- 3) выработка расположена в стороне от линии наблюдения.

На рис. 2.12 представлены результаты лабораторных исследований, изображающие характер полей ВП для двух случаев (1 и 3) расположения горной выработки и линии наблюдений в однородной по поляризуемости среде.

Судя по удовлетворительному совпадению двух кривых η_k , наблюдаемых на дневной поверхности и вдоль горной выработки в одной и той же среде (кварцевый песок), можно заключить, что в однородной по поляризуемости среде в условиях полного пространства и полупространства кривые η_k идентичны (рис. 2.12,а). Постоянное значение η_k вдоль линии наблюдения свидетельствует об отсутствии влияния горной выработки.

Влияние выработки, пересекающейся с линией наблюдения, тождественно влиянию отрицательной формы рельефа местности в методе ВП. Согласно общепринятой точке зрения, в однородной по поляризуемости среде рельеф местности не создает аномалий ВП [62, 63]. Следовательно, пустоты по кровле, подошве и по бокам в однородной по поляризуемости геологической среде околорыботочного пространства аномалий не создадут.

Изучение возможного влияния горной выработки на параметр η_k , когда выработка расположена в стороне от линии наблюдений и направлена вкрест последней, в однородной по поляризуемости среде изображено на рис. 2.12,б. Как видим, горные выработки на результаты наблюдений методом ВП не влияют.

Для выполнения расчета влияния соседней горной выработки на параметр η_k положим, что горная выработка представляет собой цилиндр, поляризующее поле направлено перпендикулярно оси цилиндра и линия наблюдений проходит на некотором удалении от цилиндра и вкрест последнему. Будем считать, что среда, окружающая цилиндр, имеет удельное электрическое сопротивление ρ_1 и поляризуемость γ_1 , а сам цилиндр — удельное электрическое сопротивление ρ_2 и поляризуемость γ_2 .

В. А. Комаровым [69] показано, что при небольшой напряженности поляризующего поля электрический момент поляризации единицы объема пропорционален этому полю и обратен ему по знаку:

$$\vec{P} = -c\vec{E}, \quad (2.10)$$

где c — поляризационная восприимчивость среды;
 E — напряженность поляризующего поля.

Поляризационная восприимчивость c является математическим аналогом коэффициента поляризации диэлектриков a , который связан с диэлектрической проницаемостью тела ϵ_2 и вмещающей среды ϵ_1 простым соотношением:

$$a = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{4\pi\epsilon_1} \quad (2.11)$$

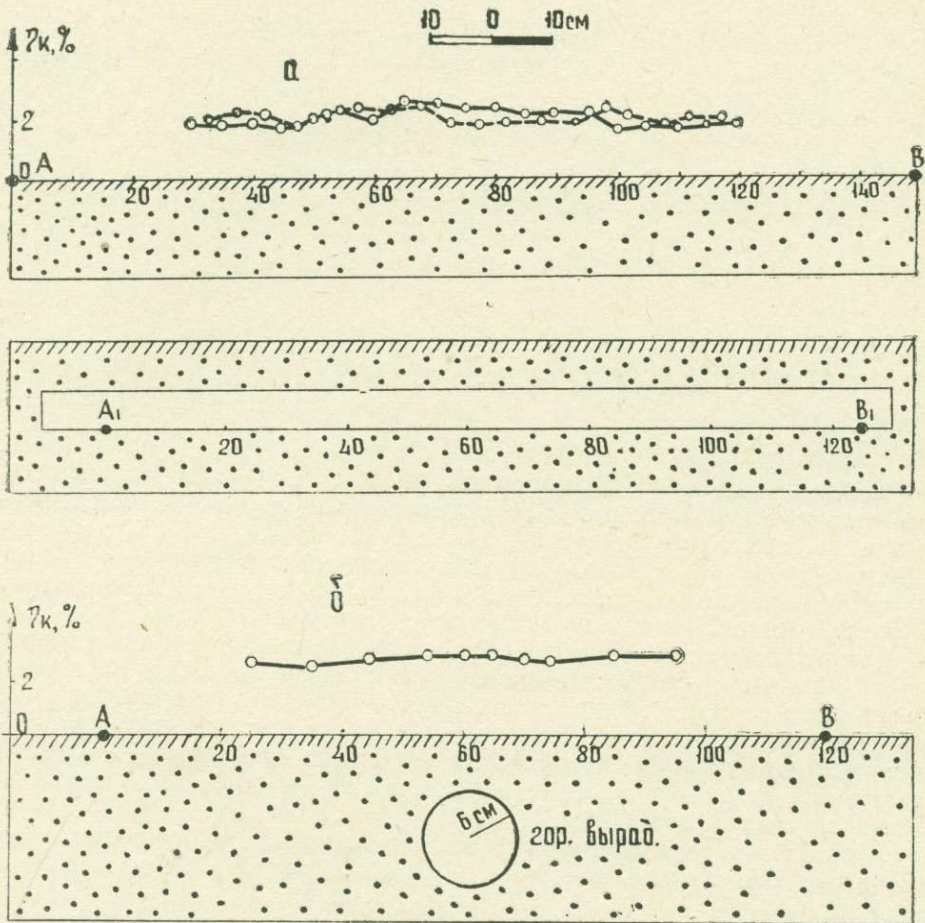


Рис. 2.12. Влияние горных выработок на результаты подземных наблюдений методом ВП в однородной по поляризуемости среде;
 а—выработка является линией наблюдения; б—выработка расположена в стороне от линий наблюдений.

Поскольку аналогом диэлектрической проницаемости ϵ в проводящих средах является электропроводность σ , то аналогом поляризационной восприимчивости c служит $\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{4\pi\sigma_1}$.

Подставляя это значение c в уравнение (2.10), получим:

$$\vec{P}_{э,з} = -\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{4\pi\sigma_1} \vec{E} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{4\pi\sigma_1} (\vec{E}_0 + \vec{E}_{ан}^{(2)}), \quad (2.12)$$

где \vec{E}_0 — приложенное (первичное) поле;

$\vec{E}_{ан}^{(2)}$ — аномальное поле внутри тела.

С другой стороны, напряженность аномального поля пропорциональна моменту поляризации:

$$\vec{E}_{ан}^{(2)} = -4\pi N \vec{P}_{э.л}, \quad (2.13)$$

где N — коэффициент, характеризующий «деполяризацию» тела внутри цилиндра.

Объединив формулы (2.12) и (2.13), получим:

$$P_{э.л} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{4\pi\sigma_1} (E_0 - 4\pi N \vec{P}_{э.л}) = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)\vec{E}_0}{4\pi\sigma_1(1 + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_1})N}; \quad (2.14)$$

$$P_{э.л} = \frac{\vec{E}_0(1 - \mu)}{4\pi[\mu + N(1 - \mu)]}, \quad (2.15)$$

где $\mu = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$ — отношение удельных сопротивлений тела и вмещающей среды.

Аномалии ρ_k всегда можно рассматривать как обусловленные электрической поляризацией тела.

Если в формуле (2.14) положить $\sigma_2 \ll \sigma_1$, то аномальный момент $\vec{P}_{э.л}$ окажется не зависящим от σ_2 . Но поскольку как первичное, так и вторичное электрическое поле при наблюдениях методом ВП в однородной по поляризуемости среде изменяется аналогичным образом, то соотношение этих полей, представляющее собою η_k , остается независимым от формы и размеров выработок.

Рассмотрим возможное влияние горных выработок во всех трех случаях их расположения по отношению к линии наблюдения в неоднородной по поляризуемости среде. Следует отметить, что специальные лабораторные и теоретические исследования для количественного изучения данного вопроса не проводились. Наши заключения основаны на статистических данных полевых наблюдений и сделаны по аналогии с методом сопротивлений.

Когда выработка является линией наблюдения, то ее влияние на величину η_k может иметь место при $AO < 10d$. При $AO \geq 10d$ это влияние незначительно.

Рассмотрим результаты полевых исследований по штреку 9 штольни 7 Ахталского барит-полиметаллического месторождения. На рис. 2.13 представлены кривые η_k и ρ_k , наблюдаемые по подошве, кровле и стенкам горной выработки. Судя по этим кривым можно сказать, что при больших значениях полуразноса $AO = 60 \text{ м} > 10d$ и глубины залегания верхней кромки тела от горизонта наблюдения влияние выработки на изучаемые параметры почти исключается. Об этом свидетельствует совпадение кривых η_k и ρ_k при четырех вариантах наблюдений.

Влияние штреков, квершлагов, ортов, восстающих шахт, пересекающихся с линией наблюдения, на параметр кажущейся поляризуемости имеет место при неоднородной среде, например, в рудных зонах.

Анализ результатов подземных исследований методом ВП (по нескольким десяткам выработок) позволяет установить влияние на η_k соседней горной выработки в неоднородной по поляризуемости среде, особенно если таковой является рудная зона. Это влияние наблюдается

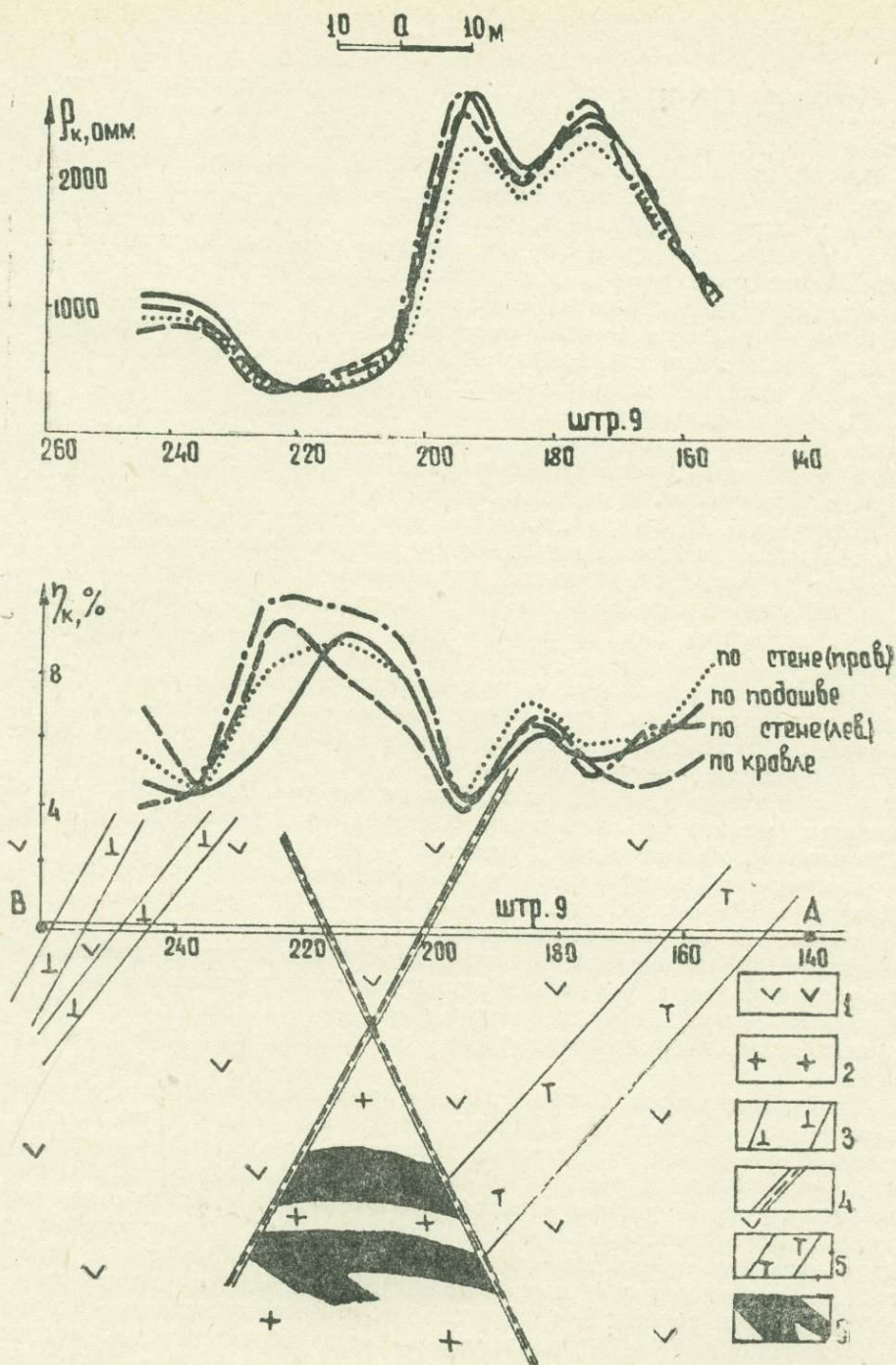


Рис. 2.13. Изучение влияния горной выработки, являющейся линией наблюдений. Кривые η_k и p_k , снятые соответственно по подошве, кровле и стенам горных выработок. 1—порфириты; 2—кварцевые порфиры; 3—дайки диабазовых порфиров; 4—тектонические нарушения; 5—дайки фельзит-порфиров; 6—полиметаллические руды.

в случае $\frac{H}{AB} \ll 1$ (при $H \gg d$ значением d можно пренебречь). При $\frac{H}{AB} \gg \frac{1}{4}$ влияние горной выработки совершенно исключается (H — расстояние между выработками).

Можно предположить, что в однородной по поляризуемости среде горная выработка во всех трех случаях ее расположения не создает аномалии кажущейся поляризуемости.

В неоднородной среде горная выработка влияет на параметр η_k и определяется размерами AB и расположением неоднородности. Этот вопрос требует дальнейшего, более тщательного исследования.

Влияние рельефа дневной поверхности. Рассмотрим роль расчлененного рельефа при производстве наблюдений методом вызванной поляризации в подземных выработках.

По этому вопросу к настоящему времени существует два мнения: первое сводится к тому, что в однородной по поляризуемости среде рельеф местности не создает аномалий ВП [47, 62, 68, 71, 117, 136, 148], второе противоположно первому [77, 79, 94].

Нами в ИГИСе были проведены модельные работы. По полученным данным в условиях однородных по поляризуемости пород, наличие неровностей рельефа приводит к изменениям $\Delta U_{\text{вп}}$ и совершенно аналогичным изменениям $\Delta U_{\text{пр}}$, а кажущаяся поляризуемость, представляющая отношение этих величин, остается постоянной, независимой от рельефа.

Исследования проводились применительно к двум случаям: а) имеется однородная среда, на границе земля — воздух осложненная поверхностными неоднородностями; б) под последними имеются электропроводящие тела.

С этой целью использовался бак размерами $1,5 \times 2,0 \times 2,5$ м³, заполненный песком, увлажненным водопроводной водой. На дне бака было сделано отверстие для дренажа.

Неровности рельефа создавались из того же песка в виде двугранной призмы с выпуклостью вверх (положительная форма рельефа) или с вогнутостью (отрицательная форма рельефа).

Основным измерениям предшествовали аналогичные наблюдения при ровном рельефе. Значения поляризуемости и удельного электрического сопротивления песка, регулируемые путем изменения его влажности, колебались в процессе измерений соответственно в пределах 1,4—2,0%.

Наблюдения проводились по схеме срединного градиента с расстоянием между питающими электродами 150 см, резе 190 см, а между приемными — 10 см. В качестве питающих заземлений применялись латунные штырьки диаметром 0,6 см и длиной 15 см по одному на каждое заземление. Приемные электроды были изготовлены из стеклянной трубки диаметром 6 мм. Нижняя пробка трубки представляет собой керамический пористый материал. В трубке помещалась медная проволочка, соединяющаяся с измерительной линией MN и закрепляемая в верхней пробке трубки. В трубку заливался раствор медного купороса.

При наблюдении использовалась измерительная часть станции ВП-59. В качестве поляризующего источника применялись 1—2 батареи марки 69-ГРМЦ-6. Сила тока не превышала 50 ма. Длительность действия поляризующего тока составляла 60 сек.

На рис. 2.14 представлены результаты модельных исследований для трех форм дневной поверхности: плоской, положительной и отрицательной форм рельефа (двугранный угол 30 и 45°).

Во всех случаях при однородной по поляризуемости и удельному

электрическому сопротивлению среде наблюдаются идентичность кривых $\frac{\Delta U_{вп}}{I}$ и $\frac{\Delta U_{пр}}{I}$ и постоянные значения η_k в пределах 1,4—2,0%, соответствующих обычной погрешности измерений.

Аналогичные эксперименты, проведенные с аппаратурой «Эрцспектор» [8], работающей в режиме кратковременных разнополярных

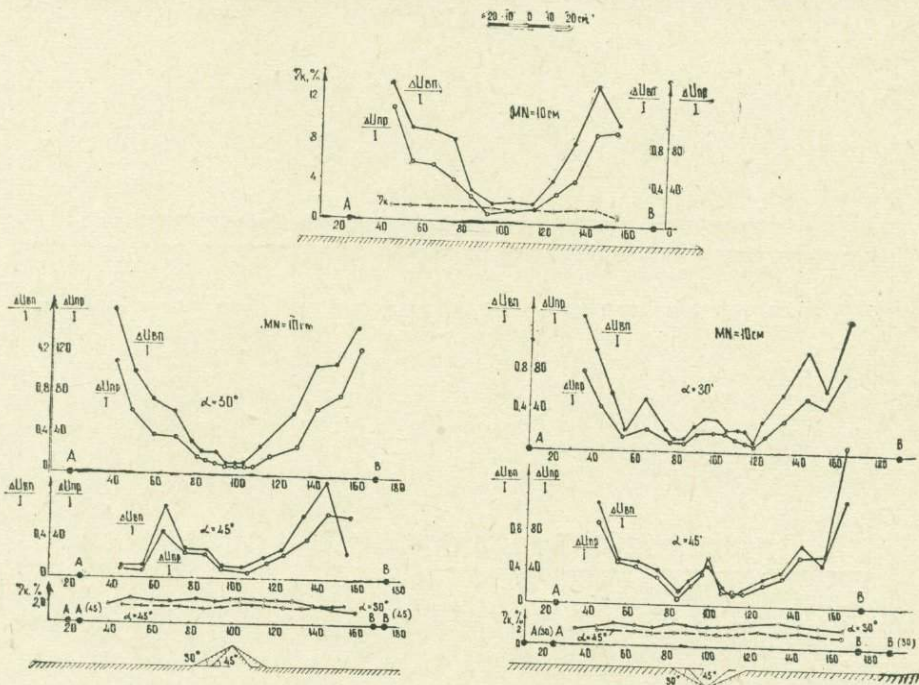


Рис. 2.14. Кривые $\frac{\Delta U_{вп}}{I}$, $\frac{\Delta U_{пр}}{I}$ и η_k над плоской границей земля - воздух, возвышенностью и впадиной в кварцевом песке при измерении со станцией ВП-59.

импульсов (длительность импульсов 0,1 сек, интервал между импульсами 0,2 сек, измерение η_k через 0,05 сек после окончания импульса), с установкой Веннера при $AM=MN=NB=20$ см дали те же результаты (рис. 2.15).

Таким образом, модельные исследования свидетельствуют, что в однородной по поляризуемости и удельному электрическому сопротивлению среде неровности дневной поверхности в одинаковой степени влияют на величины $\Delta U_{вп}$ и $\Delta U_{пр}$ и их отношение, являющееся поляризуемостью среды, остается постоянной величиной.

На рис. 2.16 представлены кривые η_k и ρ_k над различными формами дневного рельефа. При этом первые четыре графика (рис. 2.16, а—г) изображают результаты работ на участках Армянской ССР, нижние два графика представляют результаты работ по Северному Кавказу [47]. В первом случае была применена установка срединного градиента при $AB=400$ и 500 м; $MN=10$ м и 20 м, а во втором случае—установка комбинированного электропрофилирования при $AO=OB=50$ м и $MN=20$ м. Время зарядки в обоих случаях составляло 2 мин.

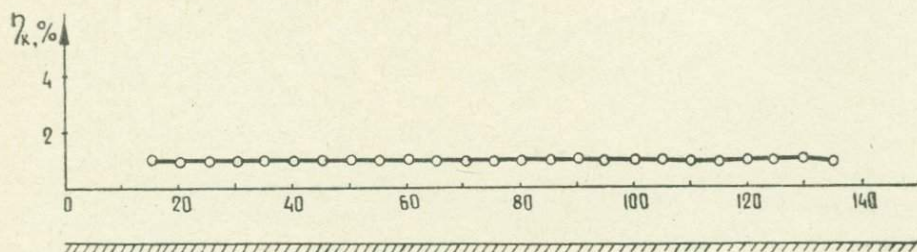
На рис. 2.16,а,б наблюдается сходство формы характера графиков η_k и ρ_k . На правом склоне и на вершине горы значения η_k и ρ_k выше, чем в долине, где находились питающие электроды. Это объясняется или

большей поляризуемостью серпентинизированных перидотитов правого склона по сравнению с неизменными перидотитами левого (серпентинизация сопровождается повышением содержания в породе электрон-

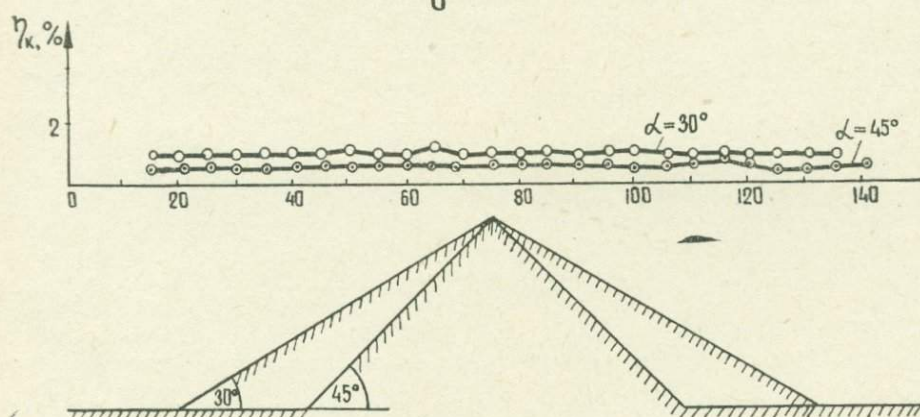
м- δ 1:10

$AM = MN = NB = 20\text{см}$

а



б



в

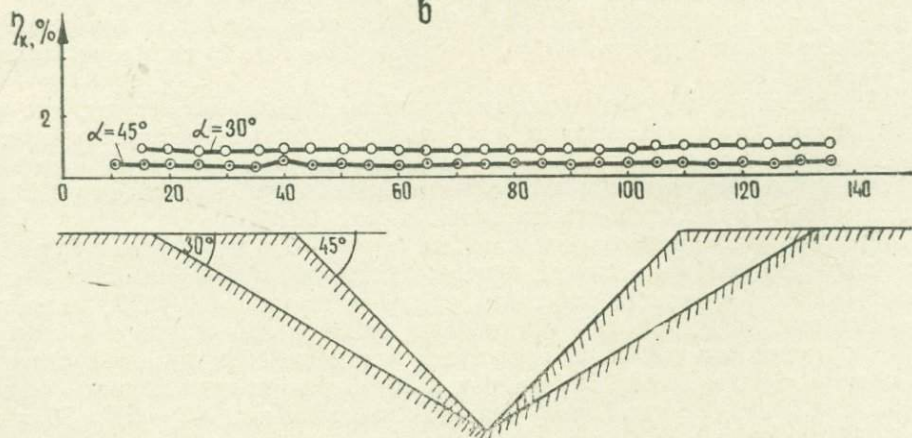


Рис. 2.15. Кривые γ_k над плоской границей земля — воздух, возвышенностью и впадиной в кварцевом песке при измерении с аппаратурой «Эрцпроспектор».

нопроводящего магнетита) или увеличением в долинах мощности поляризуемых наносов. Минимум значения над возвышенностями не наблюдается, что может быть объяснено как отсутствием наносов, так и высоким сопротивлением коренных пород [93].

Таким образом, на характер кривой γ_k влияют неоднородности пород, залегающих в центральной части возвышений и в понижениях рельефа.

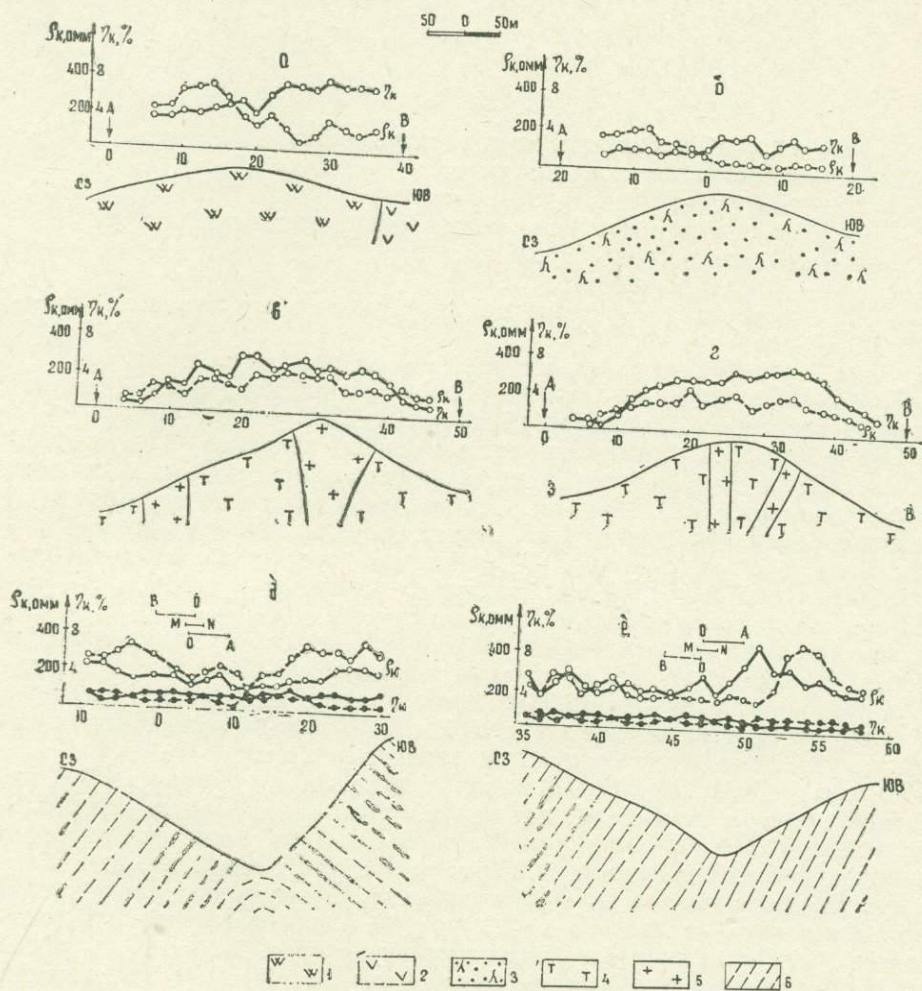


Рис. 2.16. Кривые γ_k и ρ_k над различными формами дневного рельефа на участках Амасия, Кети, г. Климово (Арм. ССР) и Сев. Кавказа (по А. Е. Гезину).
 1—перидотиты; 2—дуниты; 3—туфогенные породы; 4—кварцевые породы; 5—вторичные кварциты с гематитовым оруденением; 6—аргиллиты.

Два нижних графика (рис. 2.16, д, е) убеждают в том, что в однородной по поляризуемости, но неоднородной по удельному электрическому сопротивлению среде аномалии кажущейся поляризуемости не возникают. Можно согласиться с А. Е. Гезиным [47], что «в методе ВП нормальный фон поляризуемости, как показывает опыт работ, не искажается влиянием рельефа местности и так называемые «аномалии рельефа», обычные для других методов, полностью отсутствуют».

Рассмотрим влияние рельефа местности, когда под неровностями рельефа имеются электроннопроводящие тела. Прежде всего, попытаемся это влияние исследовать аналитическим расчетом.

Для цилиндра (по поперечной оси) при однородном возбуждающем поле В. А. Комаровым получена следующая формула [68]:

$$\Theta = \frac{\eta_{ан}}{\eta_{изб}} = \frac{\eta_k - \eta_1}{\eta_2 - \eta_1} = \left(\frac{a}{h}\right)^2 \frac{1 - \left(\frac{x}{h}\right)^2}{\left[1 + \left(\frac{x}{h}\right)^2\right]^2}, \quad (2.16)$$

где $\eta_{ан}$ — аномалия кажущейся поляризуемости;
 $\eta_{изб}$ — избыточная поляризуемость;
 η_k — кажущаяся поляризуемость;
 η_1 — поляризуемость вмещающей однородной среды;
 η_2 — поляризуемость цилиндра;
 a — радиус цилиндра;
 h — глубина погружения центра цилиндра от линии наблюдений;
 x — расстояние точки наблюдения от эпицентра цилиндра.

При выводе формулы принято, что $\rho_1 = \rho_2$ и возбуждающее поле направлено по оси OX . Граница земля — воздух не учитывалась.

Эта формула была использована для расчета значений Θ при наличии неровности линии наблюдения, представленной хребтом и долиной с углами наклона 0, 15, 30 и 45°. Ось поляризуемого цилиндра была направлена вдоль оси хребта или долины. Глубина погружения оси цилиндра от вершины хребта или долины при всех углах наклона была постоянной $h = 7$ лин. ед., радиус цилиндра $a = 2$ лин. ед., x — расстояние между точками наблюдений по прямой.

Вычислив Θ при различных углах наклона хребта, получим серию кривых Θ (рис. 2.17,а). Совершенно аналогичные вычисления для долины позволяют получить другую серию кривых Θ (рис. 2.17,б).

При рассмотрении характера кривых Θ над неровностями линии наблюдений отмечается следующая закономерность.

Над «хребтом» при больших углах наклона, к примеру $\varphi = 45^\circ$, интенсивность поля отмечается двумя экстремальными точками, аномальное значение которых приблизительно в 1,3 раза выше аномального значения над электроннопроводящим телом при ровной линии наблюдений. По мере уменьшения угла наклона минимум над осью хребта постепенно выполаживается и при ровной линии наблюдений превращается в единственную экстремальную точку (рис. 2.17,а).

Над «долиной» при больших углах наклона ($\varphi = 45^\circ$) аномального значения кривой Θ не наблюдается. Постепенное уменьшение угла наклона долины приводит к повышению интенсивности Θ (сравнительно острой экстремальной точке) и достижению своего максимального значения при ровной линии наблюдений (рис. 2.17,б).

Такое изменение характера поля вызванной поляризации над неровностями линии наблюдений при наличии электроннопроводящего тела происходит прежде всего потому, что тело по отношению к линии наблюдений расположено на различных глубинах. Это в конечном итоге и определяет такое поведение кривой Θ .

Рассмотрим результаты модельных исследований. На рис. 2.18 и 2.19 изображены кривые η_k над различными формами рельефа дневной поверхности при наличии электроннопроводящего тела, представленного параллелепипедом размерами 2, 5, 10 см, изготовленным из смеси графита и цемента. Поляризуемость модели равна 52%.

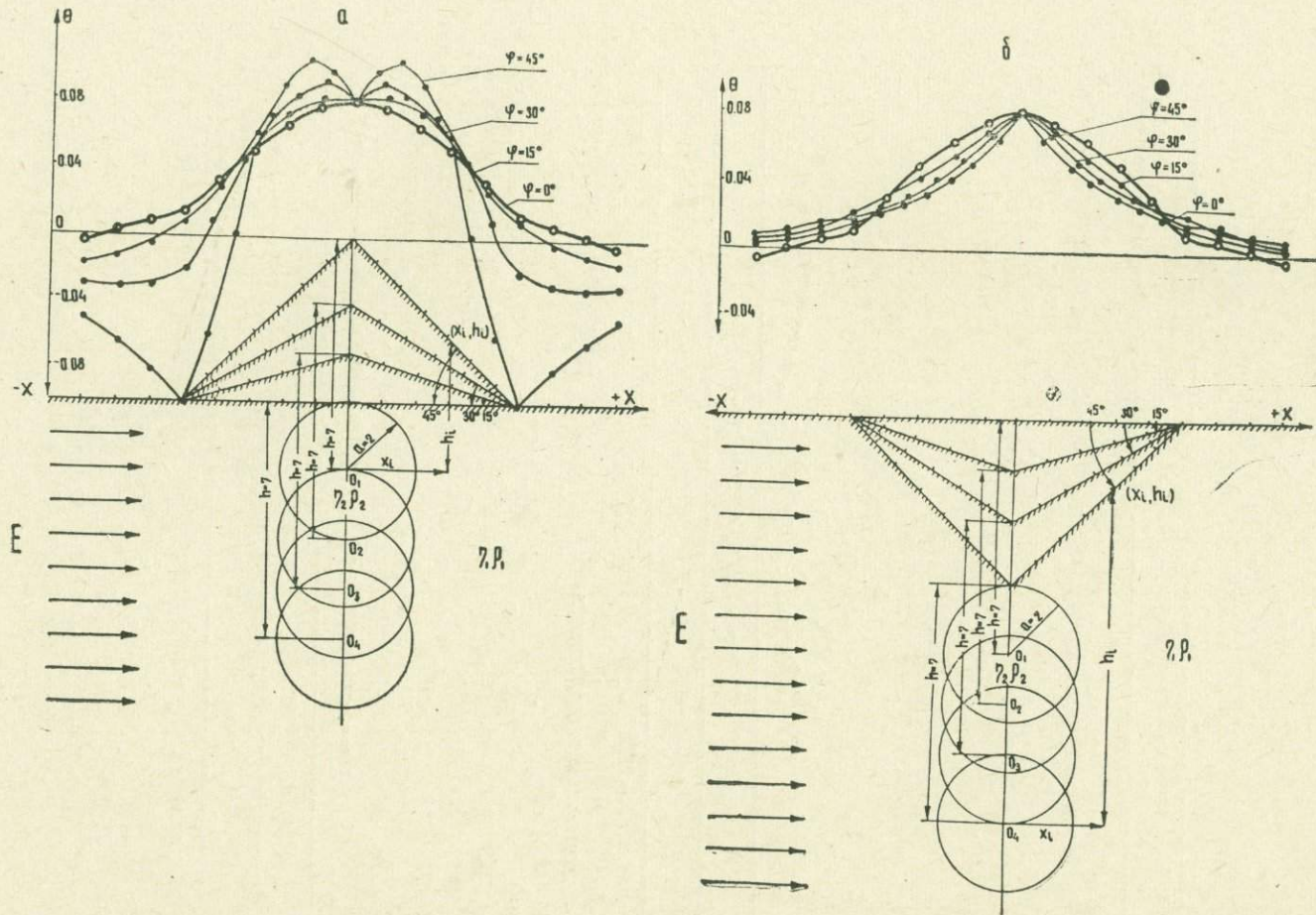


Рис. 2.17. Влияние рельефа на результаты работ методом ВП при наличии электроннопроводящего тела.
 а—в случае возвышенности; б—в случае впадины.

При одинаковой глубине залегания тела относительно высшей точки рельефа (10 см) максимальная интенсивность аномалии γ_k при положительной форме рельефа немного выше, чем при плоской поверхности

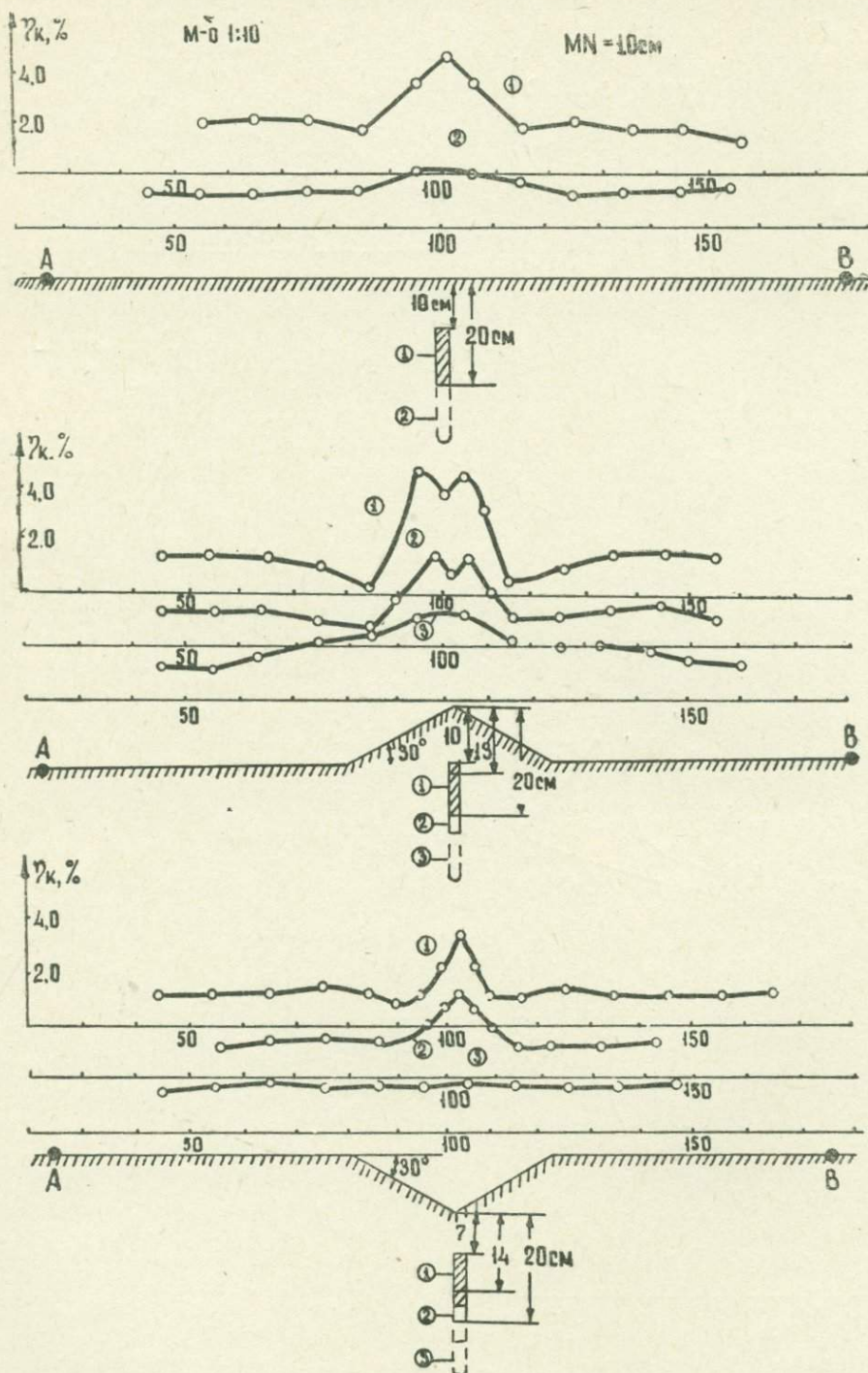


Рис. 2.18. Кривые γ_k над различными формами дневного рельефа в кварцевом песке при наличии электропроводящего тела.

ности. При такой же глубине тела относительно низкой точки и при отрицательной форме рельефа интенсивность аномалии η_k ниже.

Постепенное удаление тела от дневной поверхности в обоих случаях не нарушает вышеотмеченную закономерность. При этом в первом случае аномалия η_k с двумя экстремумами, постепенно выполаживаясь, превращается в аномалию с одной экстремальной точкой небольшой интенсивности. Во втором случае аномалия исчезает.

Указанный выше характер кривой η_k наблюдается также, когда тело расположено под углом пересечения горизонтальной и наклонной плоскостей (рис. 2.19).

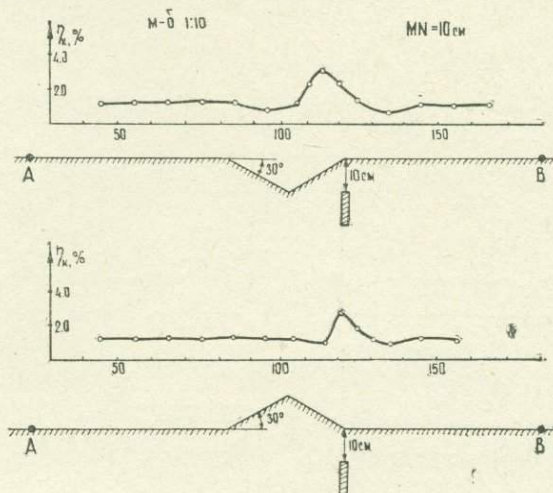


Рис. 2.19. Кривые η_k над различными формами дневного рельефа в кварцевом песке при наличии электроннопроводящего тела.

Сравнение результатов модельных исследований и описанных выше теоретических расчетов (рис. 2.17; 2.18; 2.19) показывает, что формы графиков в том и другом случае сходны между собой. Это свидетельствует о правильности методик расчета и моделирования, а также о том, что сам по себе рельеф не играет роль важного фактора, но при наличии неоднородности это влияние существенно. Обращаясь к вопросу влияния расчлененного рельефа при производстве наблюдений методом ВП в подземных выработках, можно сказать, что в подавляющем большинстве случаев наблюдения в рудниках проводятся при значительной глубине выработок от дневной поверхности и параметры ρ_k и, особенно, η_k практически свободны от искажающего влияния неровностей рельефа. При производстве наблюдений методом ВП на верхних горизонтах рудников неровности рельефа незначительно влияют на величину ρ_k и совершенно не влияют на η_k . Подтверждением этого служат результаты модельных исследований над различными формами дневной поверхности, приведенные на рис. 2.20. Во всех случаях при производстве наблюдений в подземных выработках в однородной по поляризуемости среде наблюдаются идентичность кривых $\frac{\Delta U_{пр}}{I}$ и $\frac{\Delta U_{вп}}{I}$

и постоянные значения η_k в пределах погрешности измерений.

Влияние шахтно-рудничного оборудования и влажности. Экспериментальным исследованиям вызванной поляризации электронных проводников посвящены работы ряда авторов [72, 103, 117, 142, 143].

Этими исследованиями установлено, что вызванная поляризация минералов, имеющих кристаллическую решетку типа металлической и

обладающих электронной проводимостью, протекает по принципу катодных и анодных электродных процессов. Она связана с электрохимическими процессами на границе электронного проводника и электролита. Находящиеся во влажной земле металлические трубы, рельсы и разное шахтно-рудничное оборудование подвергаются вызванной поляризации, как и электроннопроводящие рудные тела.

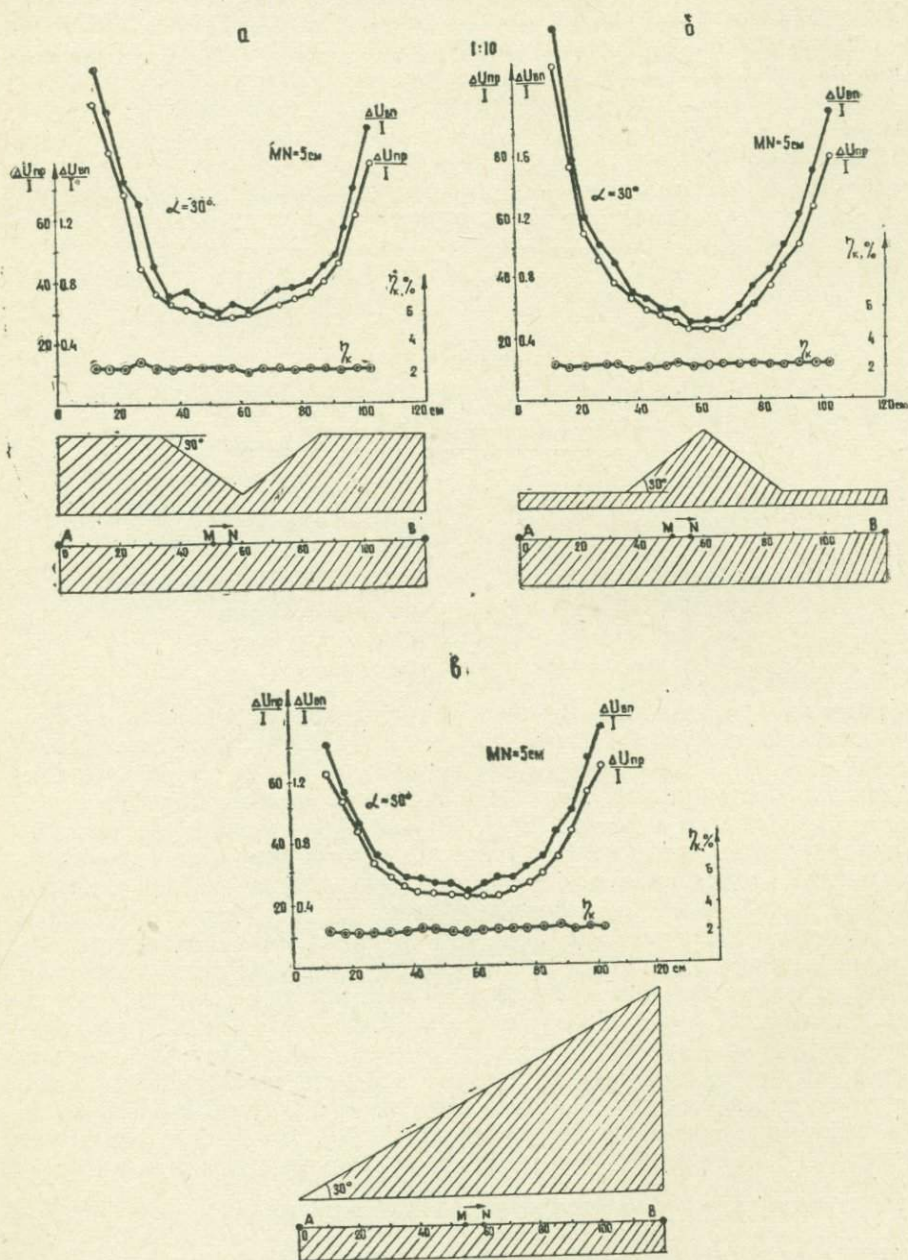


Рис. 2.20. Кривые $\frac{\Delta U_{np}}{I}$, $\frac{\Delta U_{an}}{I}$ и γ_k , полученные в горной выработке при наличии впадины, возвышенности и наклонной поверхности.

Закономерности поля ВП электронных проводников описаны в работах [68, 70, 72, 103, 117, 142, 143].

У металлов поверхность характеризуется, главным образом, катодной поляризацией, между тем как минералы (сульфиды, магнетит, графит), обладающие анодной и катодной поляризацией, поляризуются интенсивнее металлов (согласно экспериментам более, чем в три раза).

Вызванная поляризация металла в значительной степени зависит от состояния его поверхности. Металлический предмет с чистой поверхностью должен поляризоваться значительно меньше, чем с окисленной, если полагать, что увеличению поляризуемости способствует увеличение площади соприкосновения электролита с электронным проводником. Однако при окислении металла поверхность последнего покрывается ржавчиной (лимонит), обладающей плохой поляризуемостью, что приводит к уменьшению поляризуемости металлического предмета.

В полевых условиях вызванная поляризация вкрапленных руд больше, чем поляризация залежей сплошных руд тех же размеров. Небольшие по размерам тела сплошных руд (или металлические предметы), по сравнению с вкрапленными рудами, могут давать более интенсивные аномалии. Величина аномалии, конечно, зависит от глубины тела. Установлено, что при поисках неглубоких и небольших тел сплошные руды могут дать большие аномалии, чем вкрапленные. Значительные аномалии ВП могут быть получены над металлическими предметами, оказавшимися вблизи приемных электродов [68].

В свете этих закономерностей, полученных рядом исследователей для полей ВП над электронными проводниками, рассмотрим влияние шахтно-рудничного оборудования при подземных наблюдениях методом ВП.

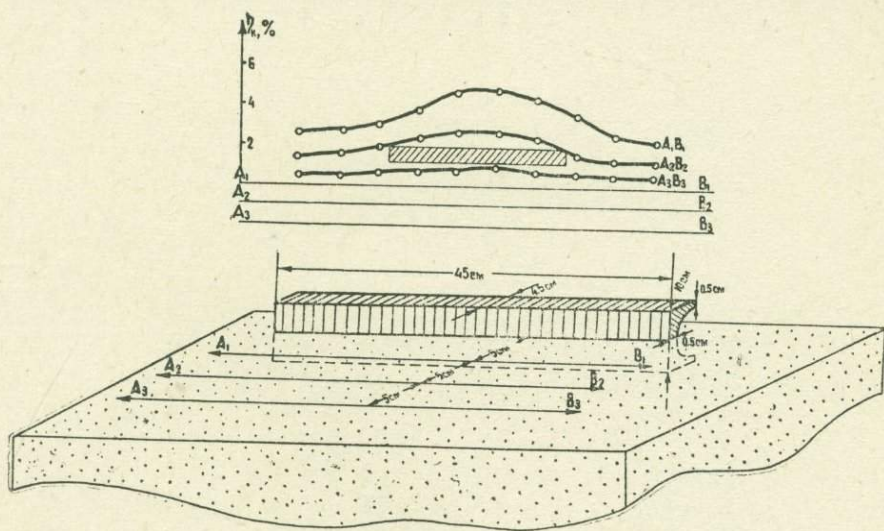


Рис. 2.21. Схема лабораторной установки и графики $\Delta\varphi_k$, отражающие влияние рельса.

Для учета влияния рельсов и других металлических предметов в горных выработках на поле ВП были проведены модельные исследования в баке размерами $2 \times 1,5 \times 1$ м, заполненном влажным песком, имеющим поляризуемость от 1,8 до 2,2%. Моделью рельса служил железный швеллер, погруженный наполовину в песок. Питающими электродами являлись медные стержни, а приемными — неполяризующиеся каломелевые электроды. Наблюдения проводились установкой среднего градиента при $AB = 120$ см, $MN = 10$ см. В качестве измерительной аппаратуры применялись автокомпенсатор и шлейфовый осциллограф

из комплекта электроразведочной станции ВП-59, а источника поляризующего тока — одна батарея марки 69-ГРМЦ-6 (при этом сила тока не превышала 12 ма). Время зарядки равнялось 60 сек. Отсчеты производились через 0,5 сек после включения тока. Линии наблюдений располагались на расстояниях от рельса, равных 5, 10 и 15 см. Как показано на рис. 2.21, на ближайшей к модели ($h=5$ см) линии наблюдений кажущаяся поляризуемость достигает 4,8%. Удаление линий наблюдений от швеллера сопровождается постепенным уменьшением η до 3,8 и 3,0%. Эти эксперименты показали, что влияние «рельса» имеется, и оно уменьшается (но не исчезает) при дальнейшем удалении от рельса.

Специальные полевые исследования по изучению искажающего влияния рельсов проводились в подземных выработках месторождений Ахтала и Зод (рис. 2.22). Кроме того, рассмотрены полевые графики η_k по 60 исследованным горным выработкам, из которых в 30 имелись рельсы.

При производстве наблюдений разности питающих электродов АВ равнялись 15, 30, 60 и 130 м, а приемных электродов — соответственно 1, 2, 4 и 8 м. Питающие электроды располагались у стенки горной выработки, а приемные электроды — на различных расстояниях от рельсов: 30—60 см (у стенки горной выработки) и 5—10 см (возле рельсов и между рельсами).

Проводились специальные исследования по выяснению вопроса влияния рельсов в геологически неоднородных средах.

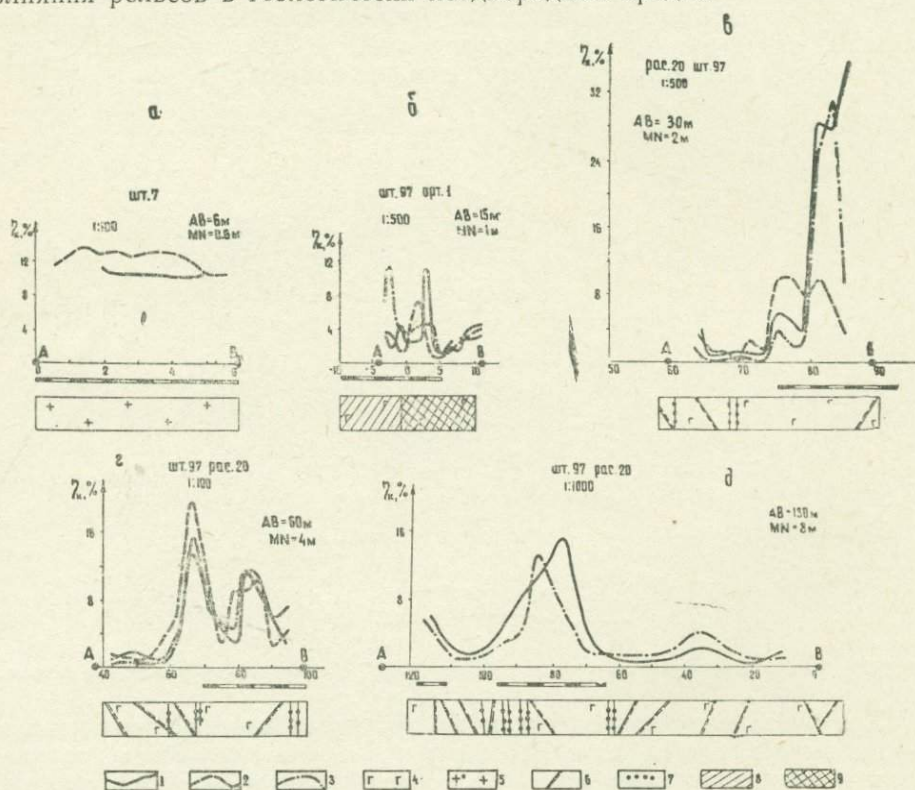


Рис. 2.22. Влияние рельсов на результаты наблюдений методом ВП (шт. 7—Ахталское месторождение, шт. 97—Зодское месторождение) при расположении приемных электродов вблизи стенки выработки—1, рельсов—2 и между рельсами—3; 4—габбро; 5—кварцевые порфириты; 6—тектонические трещины; 7—кварцевые прожилки с содержанием пирита; 8—полоса сближенных кварц-сульфидных прожилков; 9—рудные тела с промышленным содержанием золота.

На рис. 2.22 показано влияние рельсов в зависимости от разносов AB , удаления MN от рельсов и геологической неоднородности выработки. Уменьшение интенсивности аномалии γ_k при удалении линии наблюдений от рельсов отмечается при $AB=6$ м, $MN=0,6$ м (рис. 2.22). Во всех остальных случаях (при разносах AB , равных 15, 30, 60 и 130 м) удаление линий наблюдений от рельсов не сопровождается какими-нибудь закономерными уменьшениями интенсивности аномалии γ_k . Это объясняется относительно небольшим расстоянием между рельсами и линией приемных электродов по сравнению с разном питających электродов AB . Несмотря на геологическую неоднородность разреза, обусловленную электроннопроводящими зонами, по изучаемым выработкам аномалии γ_k над рельсами отмечаются интенсивнее. Аномалия кажущейся поляризуемости особенно высока при малых разносах линии AB .

Полученные графики позволяют установить ряд других особенностей влияния рельсов на величину параметра γ_k , сущность которых заключается в следующем. Рельсы, проходящие по всей длине изучаемой выработки, обуславливают относительно высокие, но устойчивые значения кажущейся поляризуемости (4—8%). Но их влияние возрастает на обводненных участках, где для электрохимической поляризации металла создаются особенно благоприятные условия и кажущаяся поляризуемость иногда достигает десятков процентов.

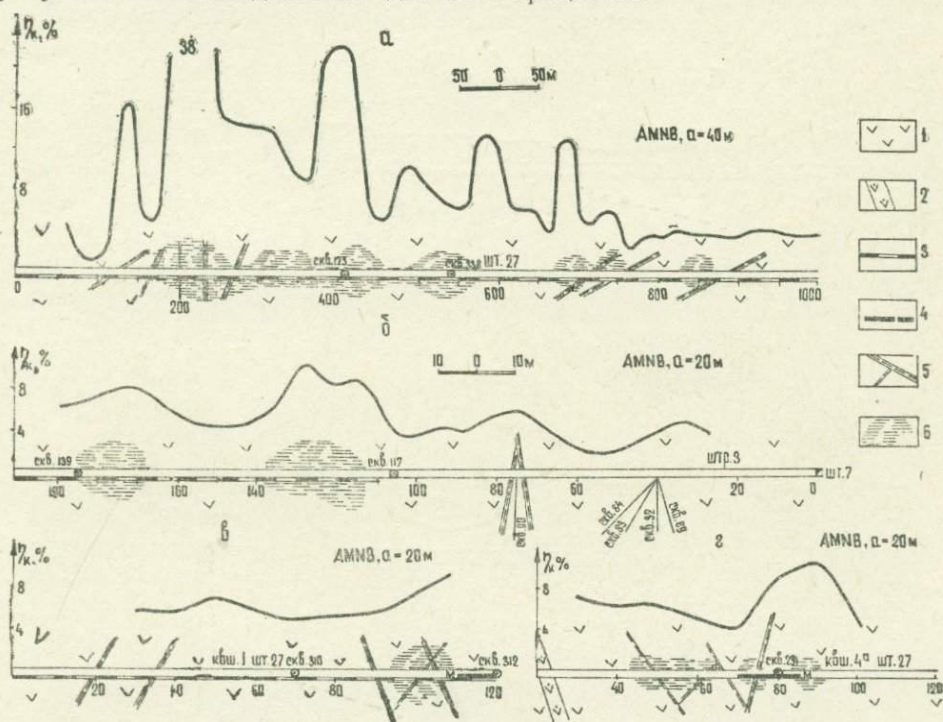


Рис. 2.23. Графики γ_k , изображающие влияние рельсов, других металлических конструкций и влажности (Ахтальское месторождение).

1—порфириты; 2—даецные породы; 3—рельсы; 4—металлические конструкции; 5—тектонические нарушения; 6—обводненные участки.

Например, на Ахтальском месторождении в штольне 27 (рис. 2.23, а) согласно геологическим данным нет зон оруденения. Две глубокие скважины 173 и 338, пробуренные на пикетах 410 и 550 м, руды не вскрыли. Поляризуемость вмещающих пород (порфиритов), судя по параметрическим измерениям, в среднем равна 2,2%. Однако наблю-

денные значения γ_k превышают 30%. Некоторые аномальные участки приурочены к тектоническим нарушениям (ПК 100—250 и 700—800), но собственная поляризуемость слабо пиритизированных зон тектонических нарушений не превышает 7,5%. Поэтому наблюдаемые аномальные значения γ_k обусловлены, главным образом, поляризацией рельсов на обводненных участках.

Аналогичную картину мы наблюдаем по штреку 3 в штольне 7 на пикетах 110—130 и 170—180 (рис. 2.23,б). Связь аномалии γ_k с оруденением на этих участках также исключается. Скважины, пробуренные на пикетах 105 и 185, оказались пустыми. Такие же результаты получены в кварцшлага 1 штольни 27 (рис. 2.23,в) и кварцшлага 4а штольни 27 (рис. 2.23, г).

На рис. 2.24 изображены данные исследований в штреках капитальной штольни I Шамлугского месторождения. Поляризуемость вскрытых выработками туфобрекчий порфиритов согласно измерениям в естественном залегании этих пород составляет 1—2%. Это свидетельствует о том, что отмеченные на пикетах аномалии γ_k обусловлены поляризацией рельсов на обводненных участках.

Выводы относительно влияния рельсов на величину γ_k могут быть распространены и на кажущееся удельное сопротивление ρ_k .

В табл. 2.5 приведены пределы изменения кажущегося удельного электрического сопротивления, измеренного при производстве электро-

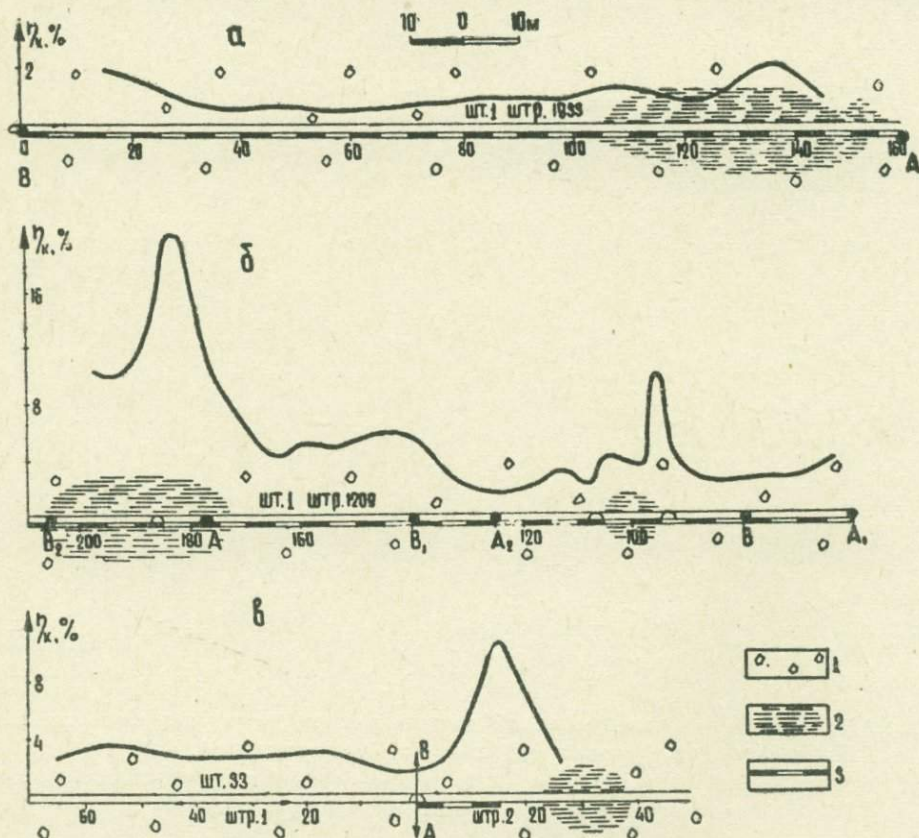


Рис. 2.24. Графики γ_k , изображающие влияние рельсов и влажности (Шамлугское месторождение).

1—туфобрекчий порфиритов; 2—обводненные участки; 3—рельсы.

профилирования по подземным горным выработкам. В случае наличия рельсов значения ρ_k в условиях одних и тех же горных пород оказываются в 1,5—2 и даже 3 раза меньше, чем при их отсутствии.

Т а б л и ц а 2.5
Изменение значений ρ_k горных пород под влиянием рельсов

Месторождение	Горные породы	К-во исслед. выработок		Пределы изменений ρ_k в ом · м	
		без рельсов	с рельсами	без рельсов	с рельсами
Ахтала	Порфириты	15	9	500—6000	200—2000
Шамлуг	Туфобрекчии порфири- ритов	5	12	100—700	50—400
Дастакерт	Ороговикованные гранодиориты	7	6	200—1700	100—1000
"	"	3	3	400—1300	100—600

Резюмируя вышеизложенное, можно констатировать следующее:

1. Рельсы создают аномалии кажущейся поляризуемости в подземных выработках. Уложенные вдоль всей выработки рельсы повышают значения кажущейся поляризуемости в среднем до 4—8%. Однако их влияние далеко непостоянно.

2. Интенсивность аномалий η_k возрастает на обводненных участках и в местах, где для электрохимической поляризации металла (рельсов) создаются особенно благоприятные условия.

3. Интенсивность аномалий кажущейся поляризуемости, обусловленных влиянием рельсов, особенно высока при малых разностях линий АВ и высокой плотности поляризующего тока.

4. Путем удаления приемных электродов от рельсов к стенке горной выработки можно лишь ослабить влияние рельсов, но исключить его невозможно.

5. Для обеспечения правильной интерпретации аномалий η_k необходимо точно определить и учитывать местоположение рельсов и других металлических предметов, тем более, что это не требует особых усилий. Геофизическая документация горных выработок должна сопровождаться зарисовками с указанием местоположения рельсов, металлических труб, участков повышенной влажности и т. д.

Интерпретация становится затруднительной, когда искомым геологический объект оказывается в районе ложных и непостоянных аномалий η_k . Тогда особенно важную роль приобретает сопоставление результатов метода ВП с геологическими и геохимическими данными.

Выше показана роль влажности в подземных выработках на поле ВП, создаваемом металлическими предметами. При отсутствии таких предметов влажность не создает аномалии ВП.

Указанные закономерности о роли влажности подтверждают результаты лабораторных экспериментов ряда исследователей [70, 104, 117], согласно которым поляризуемость при наличии только жидкости без пористой среды равна нулю (так же, как h воды). Присутствие электронных проводников в породе заметно сказывается на характере зависимости поляризуемости от влажности. Поляризуемость влажных пород, содержащих рудные минералы, выше, чем тех же пород при малой влажности. Вместе с тем, при еще большем повышении влажности пород с рудными включениями поляризуемость незначительно падает, а затем остается без изменения.

Иначе обстоит дело с вопросом влияния влажности на кажущееся удельное сопротивление.

На рис. 2.25 показаны две кривые ρ_k , полученные установкой Венера в различные дни. При наличии воды в интервале пикетов 140—160 измерены низкие значения кажущегося удельного сопротивления (до 20 ом·м). Спустя 20 дней, когда вода из выработки была откачена, значения ρ_k возросли в несколько раз.

Скопление воды в выработках, расположенных по соседству с исследуемой выработкой, также влияет на величину ρ , но не на γ . Это показывают результаты работ по штольне 33, где минимум ρ_k на пикетах 20, 80 обусловлен скоплением воды в штреке 1 и в начальных интервалах штольни 33 (рис. 2.26).

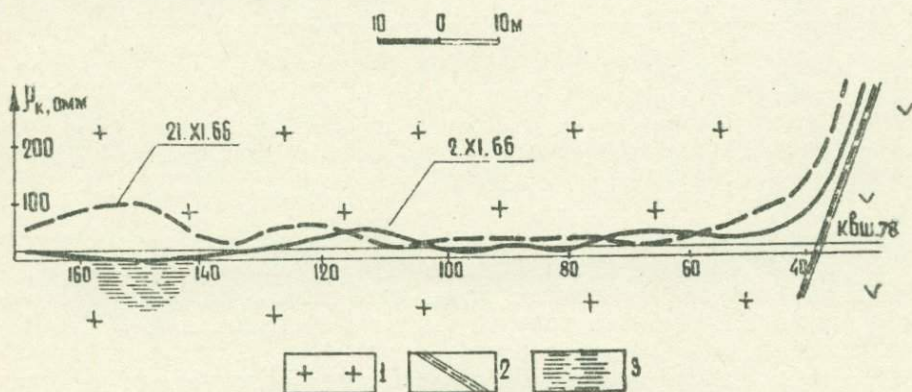


Рис. 2.25. Графики ρ_k , изображающие влияние обводненного участка (Ахталское месторождение).

1—кварцевые порфиры; 2—тектонические нарушения; 3—обводненный участок.

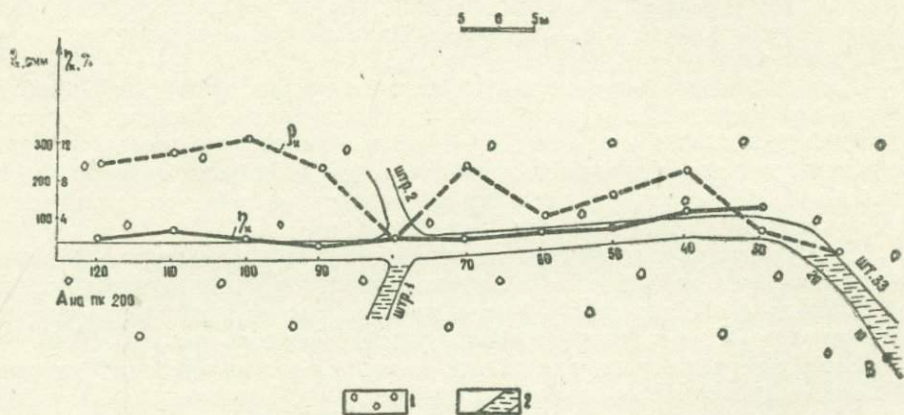


Рис. 2.26. Графики ρ_k и γ_k , изображающие влияние скоплений воды в соседних выработках (Шамлуговое месторождение).

1—туфобрекчии порфиритов; 2—выработки, заполненные водой.

Поступающая в выработки подземная вода является серьезной помехой для нормального ведения работ, особенно когда в верхних горизонтах имеются старые затопленные камеры и выработки, которые подчас создают серьезные препятствия при ведении работ в нижних горизонтах. В связи с этим учет подземных участков скопления воды за пределами наблюдаемой горной выработки является весьма важной задачей, особенно при проходке новых выработок.

Влияние токонесущих линий. Основными источниками электрических помех являются: осветительные провода, силовые кабели, электрифицированное шахтное оборудование, подсобное силовое хозяйство, расположенное на поверхности земли. Среди этих источников можно выделить две группы: источники постоянных по величине и стационарных во времени электрических полей и источники непостоянных по величине и случайных по характеру полей. Последняя группа источников создает наибольшие искажения результатов работ методами электроразведки постоянного тока.

Изучение индустриальных помех нами проводилось как на дневной поверхности месторождений, так и в подземных горных выработках. На дневной поверхности в районе рудного поля Ахтала — Шамлуг — Алаверди в различное время суток отмечались поля с меняющейся амплитудой. При $MN=10$ м величина ΔU доходила до нескольких десятков мв. Индустриальные токи в этом районе обусловлены наличием электрифицированной железной дороги, а также рудничным транспортом.

Большие помехи наблюдаются при электровозной откатке. На рис. 2.27 изображены результаты изучения влияния помех от троллея при электровозной откатке вагонеток. При этом регистрация помех осуществлялась на двух участках в разных условиях.

На участке Шамлуг наблюдениями за помехами по штольне 37 при движущихся электровозах в нескольких транспортных выработках показано, что интенсивность промышленных токов достигает ± 5000 мв при $MN=10$ м. При отключении одного из источников помех, т. е. тока в троллее, по ближайшей к исследуемой выработке капитальной штольне 1 напряжение снизилось до ± 200 мв (рис. 2.27,а).

На участке Дастакерт аналогичными наблюдениями было показано, что движущийся электровоз по единственной транспортной штольне 30 создает в исследуемой выработке (шт. «Новая») помехи, достигающие ± 700 мв при $MN=10$ м. Отключение троллея по штольне 30 позволило регистрировать естественное электрическое поле по штольне «Новая», свободное от влияния помех, с интенсивностью до ± 100 мв (рис. 2.27,б).

Судя по интенсивности помех, изображенных на рис. 2.27, и на основании полевых работ можно утверждать, что для данного случая при движущемся электровозе в выработке, отстоящей от исследуемой на 300 м, совершенно исключается возможность производства подземных наблюдений методом ВП. При наличии отдаленных транспортных выработок (далее 300 м), являющихся источниками помех, результаты подземных наблюдений методом ВП могут быть искажены.

Дальнейшее изучение влияния промышленных помех в подземных горных выработках было произведено по более совершенной методике, сущность которой заключается в регистрации изменения разностей потенциалов во времени по горным выработкам на двух точках (базисной и полевой) [41]. При этом базисная установка остается неподвижной, а полевая перемещается по разведочной выработке. Отношение приращения разностей потенциалов полевого и базисного пунктов в однородном поле предполагается постоянным, каждое отклонение его свидетельствует о наличии помех, нестационарных во времени и непостоянных по величине. Была произведена осциллографическая запись помех на базисных точках (запись во времени) и по выработке (т. е. по полевым точкам). По этим данным вычислялось изменение помех по отношению к базисным точкам. Результаты таких исследований в штолке 9 штольни 7 представлены на рис. 2.28.

Качественное изучение характера промышленных помех, обусловленных токонесущими линиями в горных выработках, позволило уста-

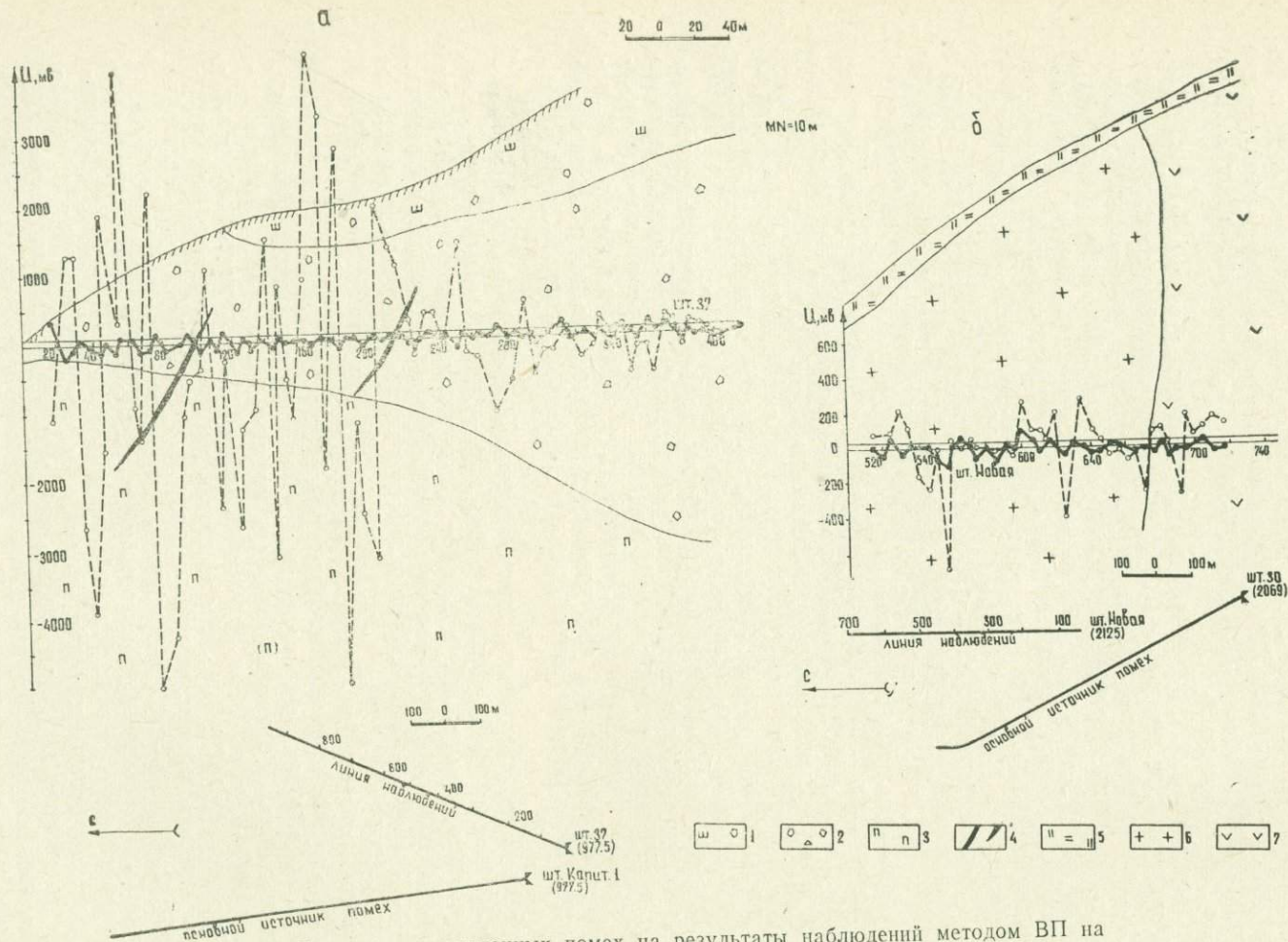


Рис. 2.27. Влияние промышленных помех на результаты наблюдений методом ВП на Шамлугском и Дастакертском месторождениях.

1—кератофировые брекчии; 2—туфобрекчии порфиров; 3—порфиры; 4—медисколчеданная руда; 5—поверхностные отложения; 6—гранодиориты; 7—ороговикованные порфиры.

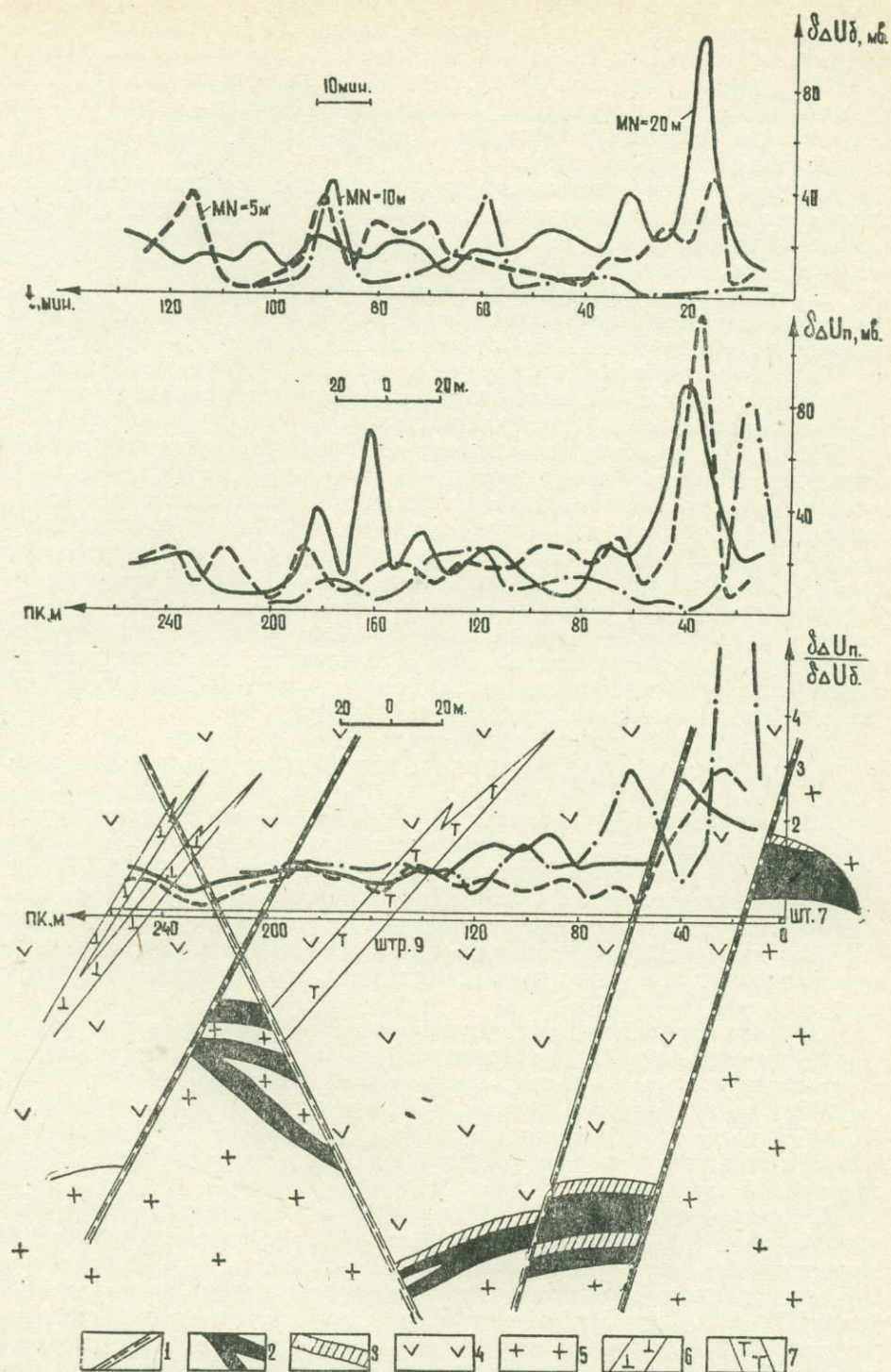


Рис. 2.28. Кривые градиента потенциала блуждающих токов на Ахталском месторождении.

1—тектонические нарушения; 2—полиметаллические руды; 3—баритовые руды; 4—порфиры; 5—кварцевые порфиры; 6—дайки диабазовых порфиров; 7—дайки фельзит-порфиров.

новить некоторые закономерности, выражающиеся в следующем: при наличии электрокабелей в горных выработках, находящихся под напряжением (переменный ток 380 в), как правило, вести наблюдения невозможно. На результаты наблюдений, проводимых в штреках и квершлагах, перпендикулярных к основной выработке с электрокабелем, влияние помех на расстоянии 20—30 м обычно велико, но в ряде случаев ощутимо и на 80 м.

Искажения могут возникать при наличии даже незаметного повреждения изоляции электропроводов или электрокабелей. В целях исключения такого рода утечек целесообразно электроразведочные наблюдения проводить при отключенной энергосистеме рудника, например, в стадии его подготовительных и нарезных работ. Возможно также при постановке метода ВП использовать ночное время с обязательным отключением линий электропередач.

Попутно отметим, что возможность оконтуривания границ глубоко лежащих рудных объектов на основе изучения полей промышленных токов весьма заманчива (см. главу 3).

В заключение отметим, что учет искажающих факторов является неотъемлемой частью геофизических исследований на рудных месторождениях. Перспективным представляется использование при обработке данных подземных электроразведочных наблюдений методов математической статистики. Наблюдения методом ВП необходимо проводить с особой осторожностью, а для исключения ложных аномалий нужно учитывать поля, обусловленные искусственными проводниками. Поэтому в обязательном порядке следует в журнале делать зарисовку горной выработки с указанием всех факторов, искажающих электрическое поле, как, например, трубы, рельсы, шахтно-рудничное оборудование, различные металлические конструкции и т. д.

2.3. МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ

Аппаратура и оборудование. Если проведение электроразведочных работ методом ВП на поверхности земли позволяет применять мощные электроразведочные станции и генгруппы (ВП-59, ВП-62, ВПС-63), то при аналогичных работах в подземных горных выработках целесообразно пользоваться малогабаритной портативной аппаратурой.

Основные требования, которым должна удовлетворять подземная электроразведочная аппаратура, могут быть сформулированы следующим образом:

- 1) ограниченный вес, габариты и потребление электроэнергии;
- 2) защищенность от блуждающих токов шахтной электросети и, в особенности, от контактной электровозной откатки;
- 3) пыле- и влагонепроницаемость, виброустойчивость;
- 4) высокая чувствительность приемных устройств;
- 5) возможность использования как автономного питания, так и питания от шахтной электросети.

Первые три требования обусловлены специфическими условиями эксплуатации электроразведочной аппаратуры в подземных условиях. Необходимость автономного питания объясняется отсутствием в ряде случаев разведки осветительной и силовой электросети в горных выработках. Питание от шахтной сети обеспечивает минимальный вес аппаратуры [82]. Измерительные приборы и оборудование должны устанавливаться на хорошо изолированных подставках, изготовленных из текстолита, винипласта или другого сходного материала. Провода питающих и приемных линий, используемые в подземных условиях, должны обладать весьма хорошей изоляцией и прочностью. Полностью исключается применение различных бензоэлектрических двигателей.

Следует отметить, что из-за влияния различных помех, специфических для шахтных условий, точность наблюдений при подземной электроразведке несколько ниже, чем при наземной. В связи с этим с целью повышения качества измерений необходимо стремиться к уменьшению величины переходных сопротивлений заземлений [81].

Как известно, специальной аппаратуры для подземных электроразведочных исследований методами вызванной поляризации и сопротивлений не имеется. Поэтому в силу необходимости может быть применена наземная аппаратура как отечественной (ВП-59, ВПС-63), так и зарубежной («Эрцпроспектор», ГДР) конструкции. В некоторых случаях для измерения параметра ρ_k пригодны приборы ЭП-1, ЭСК-1 или ИКС-1.

Наземная аппаратура метода ВП в подземных условиях может использоваться двумя способами. В первом способе генератор и измерительный прибор располагаются на поверхности земли, а в выработках размещаются лишь питающие и приемные электроды. Недостатком его является необходимость в длинных проводах, что связано с опасностью утечек и увеличением помех. Во втором способе источник поляризующего тока и измерительные приборы размещаются непосредственно в исследуемой выработке. Наибольшее применение получил второй способ, более удобный при изучении глубоких горных выработок в условиях электровозной откатки, действующих электрических установок и т. д.

Рассмотрим особенности применения различных видов аппаратуры электроразведки постоянного тока в шахтных условиях [2, 6, 8, 9, 12, 33, 61, 62, 154].

Так, например, исходя из опыта подземных работ со станцией ВП-59 при разносах AB до 300 м, продолжительность зарядки составляет одну минуту. При этом регистрация спада вызванной поляризации проводится также в пределах одной минуты. Это способствует повышению производительности труда метода при работе в подземных горных выработках без ущерба качества проводимых работ, а также продлению срока службы батарей, предназначенных для питающей установки.

Измерения величин $\Delta U_{\text{вп}}$ и $\Delta U_{\text{пр}}$ могут осуществляться как с использованием осциллографа типа ЭПО-7Б, так и со стрелочным прибором. Использование стрелочного прибора (например, в станции ВПС-63) намного облегчает процесс наблюдений, что также приводит к повышению производительности.

В шахтных условиях аппаратура «Эрцпроспектор», которая измеряет лишь один параметр—кажущуюся поляризуемость, может быть применена с прибором типа ЭСК-1, позволяющим проводить измерение ρ_k .

Использование в рудниках «Эрцпроспектора», опробованного впервые в СССР на Ахталском месторождении, характеризуется следующими особенностями [6, 8, 9, 12, 64, 154]. В отличие от отечественной станции ВП-59, выпускаемая в ГДР аппаратура «Эрцпроспектор» рассчитана на импульсы тока чередующейся полярности длительностью 0,1 сек с интервалом между импульсами 0,2 сек.

Большое количество измерений в режимах длительной зарядки и разнополярных импульсов показало, что кажущаяся поляризуемость, измеренная через 0,5 сек после выключения тока, при длительной зарядке в несколько раз больше, чем в режиме разнополярных импульсов. При практических измерениях со станцией ВП-59 и аппаратурой «Эрцпроспектор» в подземных горных выработках и баке с песком наблюдается расхождение в значениях η_k в 1,5—2 раза, иногда и больше.

Из всего этого следует, что уменьшение длительности зарядки в некоторых случаях приводит к относительному занижению величин η_k ,

наблюдаемых в аномальных зонах. Иными словами, слабые аномалии от рудных тел, отмеченные станцией ВП-59, при работе с «Эрцпроспектором» могут быть затушеваны. «Эрцпроспектор» обеспечивает высокую производительность работ только при достаточно большой величине полезного сигнала. К основным недостаткам прибора следует отнести: малую глубинность исследования, сравнительно большое потребление энергии, неустойчивое изображение кривых, а также появление погрешностей, обусловленных утечками при наблюдениях в подземных горных выработках.

Между тем, использование «Эрцпроспектора» все же удобно ввиду его малого веса, портативности и визуального определения поляризуемости. Использование кратковременных разнополярных импульсов в аппаратуре «Эрцпроспектор» позволяет повысить производительность работ и уменьшает влияние помех, но одновременно сопровождается уменьшением не только абсолютных, но и относительных (по сравнению с фоном) аномалий ВП над рудными объектами.

Рассмотрим некоторые практические примеры, характеризующие возможности и особенности отдельных видов электроразведочной аппаратуры.

На рис. 2.29,а изображены результаты модельных работ по изучению характера поля ВП с установками ВП-59 и «Эрцпроспектор». При сопоставлении кривых η_k отмечается, что интенсивность аномалий η_k над электроннопроводящими телами, погруженными на различные глубины (5, 10 и 15 см) в баке с песком, наблюдаемыми с ВП-59, в 1,5—2 раза выше, чем при измерениях с «Эрцпроспектором». При глубине залегания проводящей модели 15 см аномалия при наблюдениях с «Эрцпроспектором» исчезает, а при наблюдениях с ВП-59 интенсивность ее превышает 3% (рис. 2.29,а). Аналогичное сравнение полевых кривых η_k , полученных на Ахтальском месторождении (шт. 9, штр. 7), представлено на рис. 2.29,б. Обе кривые в интервале пикетов 180—240 характеризуются аномалиями, соответствующими неглубоко залегающим рудным телам. Однако по интенсивности аномалий над рудными телами и по локализации местоположения последних наблюдается некоторое различие. При сопоставлении результатов наглядно видно, что с ВП-59 при длительной зарядке аномалия η_k с интенсивностью выше 10% более точно указывает местоположение рудных тел, нежели аномалия $\eta_k = 7\%$, полученная с «Эрцпроспектором». С другой стороны, имеются примеры, когда применение «Эрцпроспектора» позволило забраковать аномалии η_k , полученные с ВП-59 и связанные с влиянием помех. На правом рисунке (штр. 1 шт. 7) кривая кажущейся поляризуемости вблизи обнаженной части рудной линзы обладает максимальными значениями η_k . Дальнейшее плавное погружение рудной линзы под порфириты сопровождается общим уменьшением значения кажущейся поляризуемости.

Метод ВП в подземных условиях может быть применен также при исследовании горизонтальных скважин алмазного бурения. Как известно, скважины подземного бурения обычно имеют небольшой диаметр. В связи с этим для досылки электродов в скважину могут быть использованы винипластовые штанги диаметром не более 20 мм. Такие штанги соединяются между собой с помощью специальных муфт, внешний диаметр которых не должен превышать 30 мм. Если принять среднюю длину одной штанги 2 м, то комплект штанг из 50 штук позволит исследовать скважину на глубину до 100 м. Приемные неполяризующиеся электроды могут быть изготовлены из медной проволоки, которая наматывается на штангу в специально сделанных пазах (рис. 2.30). Сверху приемный электрод обматывается войлоком, пропитанным раствором медного купороса. Внешний диаметр такого электрода достига-

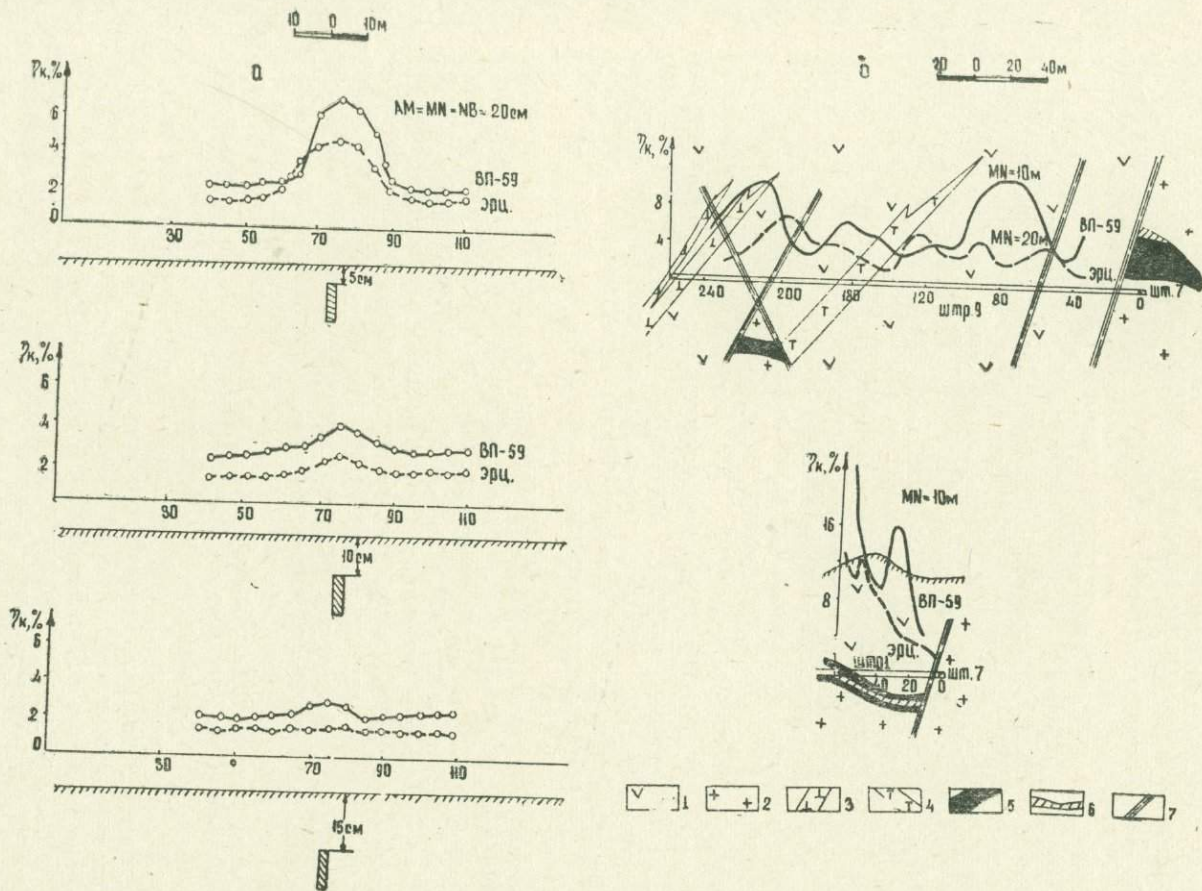


Рис. 2.29. Исследование аппаратур, работающих в различных режимах. Сравнение результатов работ ВП-59 и «Эрцпроспектора»:
 а) при лабораторных исследованиях; б) при подземных исследованиях. 1—порфириты; 2—кварцевые порфиры; 3—дайки диабазовых порфиров; 4—дайки фельзит-порфиров; 5—полиметаллические руды; 6—баритовые руды; 7—тектонические нарушения.

ет 50 мм, что позволяет производить исследования скважин диаметром 50 мм и более. Проталкивание штанг в скважины производится вручную. Опыт наших работ показывает, что при такой конструкции приемных электродов и способе проталкивания штанг можно исследовать горизонтальные скважины длиной до 100 м. При этом наблюдения проводятся с различными установками приемных и питающих электродов [2, 74].

На основании вышесказанного и большого опыта подземных исследований можно указать на следующее.

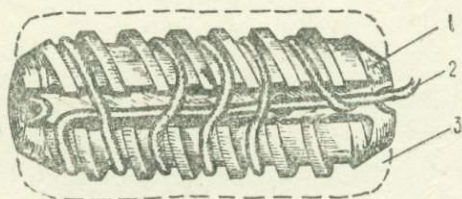


Рис. 2.30. Неполаризующийся скважинный электрод.

1—корпус; 2—медная проволока; 3—войлок, пропитанный раствором медного купороса.

Аппаратуры ВП-59, ВПС-63, «Эрипроспектор» и ЭСК-1 были сконструированы с учетом специфики наземных работ, поэтому применение их при подземных работах связано с большими затруднениями, которые в ряде случаев сказываются весьма отрицательно как непосредственно на результатах измерений, так и на производительности работ.

Если генгруппа и измерительный прибор станции ВП расположены на поверхности земли, а в выработках размещаются лишь питающие и приемные электроды, то погрешность в измерениях может иметь место преимущественно за счет утечек в приемной и питающей линиях. Если же источник поляризующего тока и измерительный прибор размещаются в исследуемой выработке, то к указанному добавляются погрешности, обусловленные неудобством применения аппаратуры, предназначенной для наземных исследований. К ее недостаткам следует отнести: неудовлетворительную герметичность, несоответствующую шахтным условиям компоновку, большие размеры, отсутствие подсветки панелей управления, значительный вес и т. д.

Такой фактор, как гидроскопичность изоляции ответственных узлов, конденсация паров на изоляции и, следовательно, возникающие при этом утечки, оказывал наибольшее действие на приборы ВП-59 и ЭСК-1. Их неприспособленность к подземным условиям приводит к окислению и загрязнению контактов, клемм тумблеров, неустойчивости работы реле, уменьшению входного сопротивления приемных линий каналов ВП и ПР, нарушению чувствительности последних. Кроме того, определенные погрешности в виде утечек возникают в результате плохой изоляции измерительного прибора, питающих батарей и катушек проводов от влажной земли.

Под влиянием различного рода помех, а также в результате случайных ошибок и аппаратурных погрешностей расхождение между основными и повторными наблюдениями методами ВП и сопротивлений может быть большим. Однако усовершенствование аппаратуры применительно к подземным условиям приведет к значительному повыше-

нию точности измерений, следовательно, и к повышению достоверности полученных результатов подземных наблюдений.

Как было установлено, имеющаяся аппаратура по ВП, предназначенная для наземных работ, при строгом соблюдении соответствующих правил все же может быть использована также при подземных исследованиях.

Однако разработка специальной аппаратуры по методу ВП является весьма важной задачей. При этом особое внимание следует обратить на достижение высокой помехоустойчивости, позволяющей вести наблюдения при наличии промышленных помех в подземных горных выработках.

В настоящее время ВИТРОм уже разработана портативная аппаратура ВПП-67 по методу вызванной поляризации, испытанная при подземных исследованиях геофизической службой Производственного геологоразведочного треста Управления цветной металлургии Арм. ССР на горно-рудных предприятиях республики. Преимущества станции ВПП-67 заключаются в следующем: относительно небольшие размеры отдельных блоков, транспортабельность, автоматическое переключение тока в режиме разнополярных импульсов длительностью 10 или 5 сек с паузой между ними соответственно 5 или 2,5 сек, производство отсчетов по шкале стрелочного прибора. Вместе с тем, надо указать на недостаточную герметичность прибора.

На кафедре автоматики и промышленной электроники МГРИ разработана аппаратура для двухчастотных измерений вызванной поляризации в горных выработках. Аппаратура прошла успешное испытание на рудных месторождениях Казахской ССР.

Судя по результатам испытания, оба эти комплекта могут быть широко применены при подземных работах.

Методика подземных наблюдений. Постановка электроразведочных работ в подземных условиях predetermined положением горных выработок и их протяженностью. Поэтому в каждом отдельном случае нужно применять ту или иную схему наблюдения, подбирать соответствующие разности питающей и приемной линий, а также шаг установки.

На основе наших экспериментальных работ по применению методов вызванной поляризации и сопротивлений в рудничных условиях [2, 4, 7, 10, 12, 13, 15, 159], а также с учетом аналогичных работ других исследователей [20, 74, 86, 110, 145, 147, 173, 176] была создана оптимальная методика наблюдений при использовании одной горной выработки или одновременно нескольких выработок.

На рис. 2.31, 2.32 и 2.33 приведены различные схемы наблюдений в одной выработке.

Так, например, симметричное электропрофилирование методом ВП ($AB=MN=NB=5, 10, 20, 40$ м) применялось в горных выработках с целью получения общего характера геоэлектрического разреза. Опыт работы на месторождениях Ахтала, Дастакерт и Зод показал, что данной установкой с достаточной уверенностью отмечаются дорудные тектонические нарушения, контакты разнородных пород и неглубоко залегающие прожилково-вкрапленные зоны сульфидного оруденения. Аналогичная установка оказалась эффективной при электроразведочных исследованиях методом вызванной поляризации в рудниках Межика и Идрия в Югославии [176]. Роль установки симметричного профилирования в методе сопротивлений сводилась к решению тех же задач, что подтверждается работами других исследователей [48, 145, 147].

На рис. 2.32,а представлены результаты наблюдений методом ВП при установке симметричного профилирования ($AM=MN=NB=10$ м) на Дастакертском месторождении по штольне «Южная» и по наземному профилю над этой же штольней.

Сравнение графиков γ_k подземного и наземного вариантов убеждает в том, что подземные измерения параметра γ_k достаточно точно отмечают участки высокого накопления сульфидной минерализации, а также наличие тектонических нарушений и даек, а наземные измерения в данном случае менее чувствительны даже к литологическим изменениям. Это объясняется тем, что переносом наблюдений в горную выработку, помимо приближения к искомым объектам, уменьшается влияние искажающих физических полей, неоднородностей в наносах, коры

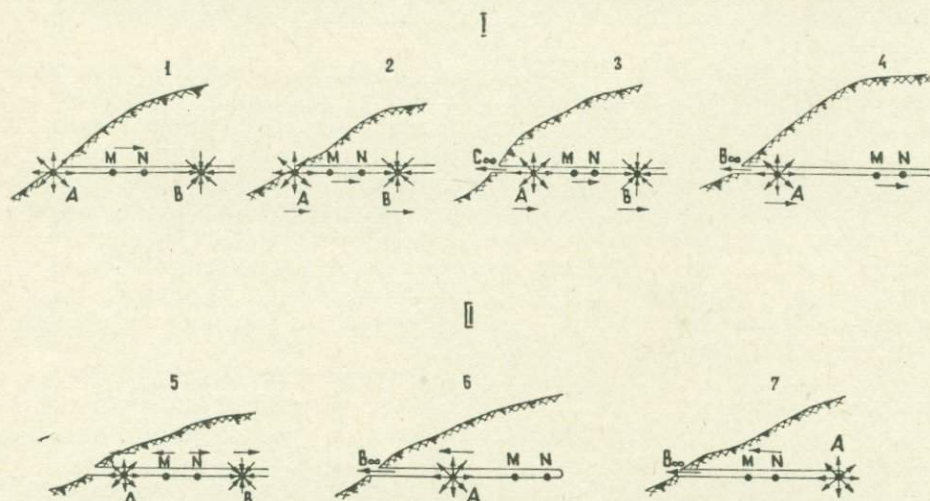


Рис. 2.31. Различные схемы наблюдений методом ВП (профилирование—I; зондирование—II) с использованием одной горной выработки.

1—срединный градиент; 2—симметричное профилирование; 3—комбинированное профилирование; 4—трехэлектродное профилирование; 5—четырёхэлектродное зондирование; 6—трехэлектродное зондирование (обращенная трехэлектродная градиент-установка); 7—трехэлектродное зондирование (последовательная трехэлектродная градиент-установка).

выветривания и т. д., тем самым повышается глубинность исследований и интенсивность аномалий.

Для дальнейшего увеличения глубинности исследования можно исследовать срединный градиент при больших разносах AB . С этой установкой выявляются «слепые» тела при условии достаточной протяженности горной выработки. В методе сопротивлений в подземных горных выработках выявлялись крутопадающие дайки высокого электрического сопротивления и тектонические нарушения. Однако применение данной установки в подземных условиях оказалось не особенно благоприятным из-за необходимости использования большого поляризующего тока, проводов, катушек и т. д. В связи с этим роль установки срединного градиента, при AB до 300 м сводилась к детализации наиболее интересных участков, отмеченных установкой симметричного профилирования. В качестве примеров, характеризующих успешное опробование установки срединного градиента, можно указать прежде всего на результаты по Шамлугу, далее по Дастакерту, Зоду и Ахталю.

На рис. 2.32,б приведены результаты работ методом вызванной поляризации по подземным выработкам транспортной штольни 30 Дастакертского месторождения.

Наблюдения по штреку 9 и квершлагу 8 (шт. 30) проводились установкой срединного градиента (рис. 2.32,в). Медно-молибденовое руденение, подсеченное квершлагом 8 и разведанное рядом выработок, четко отмечается по кривой γ_k .

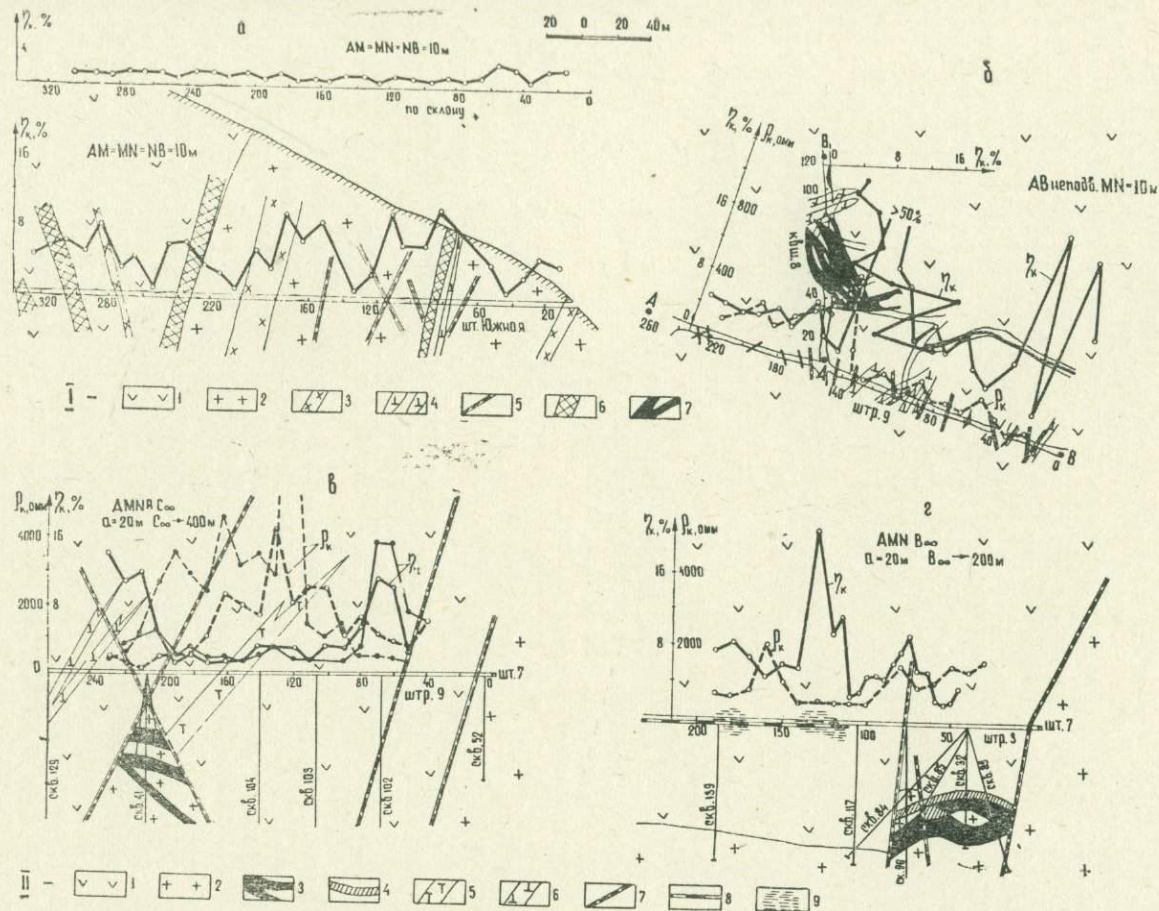


Рис. 2.32. Кривые метода ВП, полученные различными установками на Дастакертском (а, б) и Ахталском (в, г) месторождениях. I—Дастакертское месторождение: 1—ороговикованные порфириты; 2—гранодиориты; 3—дайки диорит-порфиритовые; 4—дайки диабаз-порфиритовые; 5—тектонические нарушения и трещины; 6—зоны медно-молибденового оруденения; 7—медно-молибденовые руды. II—Ахталское месторождение: 1—порфириты; 2—кварцевые порфиры; 3—полиметаллические руды; 4—баритовые руды; 5—дайки фельзит-порфиров; 6—дайки диабазовых порфиров; 7—тектонические нарушения; 8—рельсы; 9—обводненные участки.

Применялось также комбинированное ($AMNBC_{\infty}$) и трехэлектродное электропрофилирование ($AMNB_{\infty}$). Эти установки оказались чувствительными к вертикальным неоднородностям, особенно когда вытянутые геологические объекты обладают низкими значениями ρ_k и высокими η_k (рудные линзы, жилы, зоны тектонических нарушений, заполненные минерализованным перетертым увлажненным материалом, и т. д.). Так, например, на Ахталском месторождении комбинированным электропрофилированием характерными пересечениями графиков η_k и ρ_k отмечались вертикальные контакты пород, а также тектонические нарушения. Применению этих установок способствовало благоприятное расположение горных выработок по изучаемому горизонту. Располагая линию «бесконечность» по стволу штольни и выполняя наблюдения по перпендикулярным к ней штрекам или квершлагам, получим дополнительную геологическую информацию, которая в некоторых случаях более полна, чем результаты, полученные с установкой симметричного профилирования. Разносы AB и MN при установке комбинированного и симметричного электропрофилирования одинаковы.

На рис. 2.32,г представлены результаты исследований схемой трехэлектродного электропрофилирования по штреку 3 той же штольни 7.

Для детализации служили также установки четырехэлектродного и трехэлектродного зондирования, при помощи которых решались задачи прослеживания рудной зоны на глубину при условии близости полуразноса AO и глубины залегания возмущающего объекта. Благоприятной предпосылкой для применения этих установок являлось горизонтальное залегание рудных тел.

В небольших по длине горных выработках четырехэлектродное зондирование заменялось трехэлектродным, при котором линия «бесконечность» выносилась по стволу штольни, а измерения проводились по штольне, штрекам или квершлагам.

В ряде случаев, в частности, при наличии впереди забоя горной выработки контакта двух электрически разнородных пород, применялось трехэлектродное зондирование. Использовались две разновидности:

1) обращенная трехэлектродная градиент-установка MNB , при которой вблизи забоя оставался питающий электрод, а приемный диполь постепенно удалялся (по аналогии со скважинными измерениями) [7];

2) последовательная трехэлектродная градиент-установка AMN , при которой вблизи забоя оставался неподвижным приемный диполь, а питающий электрод постепенно удалялся. В обоих случаях один из питающих электродов удалялся в «бесконечность» [146]. Следует отметить, что при обращенной трехэлектродной градиент-установке кривая ПЭЗ отражает изменение искомым параметров не только по горизонтальному направлению, но и с глубиной [59, 146].

Опыт работ показал, что как при установке срединного градиента, так и при зондировании поиски «слепых» рудных тел методом вызванной поляризации представлялось возможным проводить только на расстояниях первых десятков метров как выше, так и ниже разведочного горизонта. При этом было установлено, что в ряде случаев зондирование может однозначно решать вопросы прямых поисков рудных тел [159].

Сравнение результатов работ четырехэлектродного и трехэлектродного зондирований показало, что данные трехэлектродного зондирования осложнялись влиянием не только глубинного разреза, но и неоднородностями впереди забоя горной выработки или вообще впереди приемной установки (или питающей точки). Поэтому трехэлектродное

зондирование по сравнению с четырехэлектродным имело ограниченное применение [159].

Положительные результаты трехэлектродным зондированием получены, когда разрез над питающими или приемными электродами либо впереди их был однородным.

В процессе подземного зондирования была установлена еще одна особенность, имеющая важное значение при интерпретации кривых ВЭЗ. Она сводится к тому, что при параллельных залеганиях двух толщ, выше и ниже горизонта выработки, при соотношениях $\rho_1 \ll \rho_2$ (ρ_1 — удельное электрическое сопротивление верхней толщи) на значения

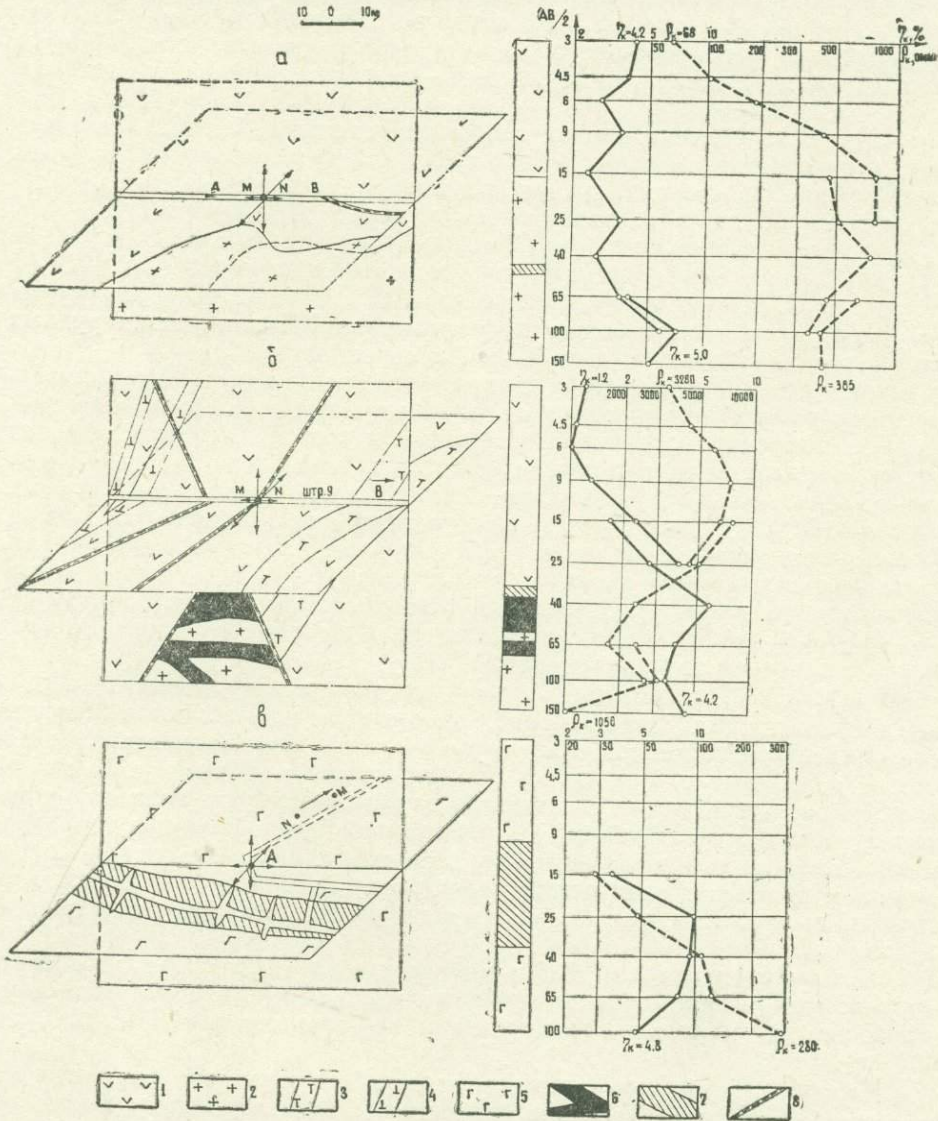


Рис. 2.33. Кривые ВЭЗ ВП, полученные на Ахтальском (а) и Зодском (б) месторождениях четырехэлектродной (а), трехэлектродной обращенной (б) и последовательной (в) установками.

1—порфириты; 2—кварцевые порфиры; 3—дайка фельзит-порфиров; 4—дайки диабазовых порфиров; 5—габбро; 6—полиметаллические руды; 7—зоны золоторудного оруденения; 8—тектонические нарушения.

кривой ВЭЗ существенное влияние оказывают породы вышележащей проводящей толщи в силу того, что электрический ток течет по пути наименьшего сопротивления. Т. е., если подземное ВЭЗ проведено на плоском контакте двух толщ, характеризующихся различными сопротивлениями, то кривая ВЭЗ, в большинстве случаев, отражает влияние более проводящей области.

На рис. 2.34 представлены кривые ПЭЗ-ВП, полученные различными установками (*AMNB*, *AMN*, *MNB*), на геологической основе в виде двух взаимно перпендикулярных плоскостей. Сопоставляя результаты ПЭЗ-ВП с геологическими данными, можно предположить, что на верхнем рисунке кривая ПЭЗ отражает геологические разрезы ниже и впереди линий наблюдений, на среднем — геологический разрез ниже линий наблюдений, а на нижнем — геологический разрез впереди ствола выработки.

На рис. 2.34 представлены различные схемы наблюдений с *одновременным использованием нескольких горных выработок* (при этом подразумевается, что одна из горных выработок может заменяться либо скважиной, либо дневной поверхностью).

К числу опробованных модификаций относятся: способ изучения межвыработочного пространства или пространства между выработкой и скважиной, между скважиной и дневной поверхностью, заряд или так называемая электрическая корреляция по ВП для увязки рудных зон между выработками, выработкой и скважиной.

При изучении межвыработочного пространства методами вызванной поляризации и сопротивлений питающие электроды располагались в одной выработке (*AB* неподвижно), а приемные передвигались по другой параллельной выработке, расположенной как в вертикальной, так и горизонтальной плоскости. Этот способ, предложенный А. А. Огильви [86, 145], позволяет изучить пространство между выработками. Меняя положение питающих и приемных электродов, изучаются блоки пород, расположенные между горными выработками, а также между выработкой и дневной поверхностью, оценивается степень электрической однородности, трещиноватости пород и их обводненности, ведется поиск и разведка зон оруденения.

На рис. 2.35 в качестве примера приведены результаты опробования перечисленных модификаций, которые подтверждают эффективность их применения при достаточно высокой производительности работ. Так, например, съемки на Дастакертском и Шамлугском месторождениях, проведенные с помощью комбинированного варианта установки срединного градиента, позволяют получить обширную информацию. Особенностью этой установки является то, что при одном расположении питающих электродов наблюдения проводятся по нескольким горным выработкам, расположенным по разные стороны от питающей линии.

Наблюдения методом ВП в районе штока «KL» (Шамлугское месторождение) были проведены по четырем профилям: по наземному профилю, по наклонно-восстающей и по горизонтам 17 и 32 (рис. 2.36,а).

Следующий пример применения комбинированного варианта установки срединного градиента относится к Дастакертскому месторождению, где наблюдения проводились по штрекам 4, 6 и 8 штольни 30 (рис. 2.36,б). При этих наблюдениях питающие электроды были установлены неподвижно в квершлагах 3 и 4.

Необходимо учесть, что изучение межвыработочного пространства по методу ВП удалось при расстоянии между выработками порядка первых десятков метров, а в отдельных случаях и до 70 м. При сравнительно больших расстояниях между выработками, часто встречаю-

щихся на изучаемых месторождениях (70—200 м), применение этого способа затруднялось из-за необходимости использования мощного питания.

Заряд по ВП сопровождал обычные наблюдения по методу электрической корреляции на постоянном токе. Использование этой модификации позволило проследить рудные зоны как в глубину между горизонтами, так и на том же горизонте между выработками. В качестве примера на рис. 2.37 представлены некоторые результаты использования метода ВП в модификации заряда на Дастакертском, Зодском и Ахталском месторождениях.

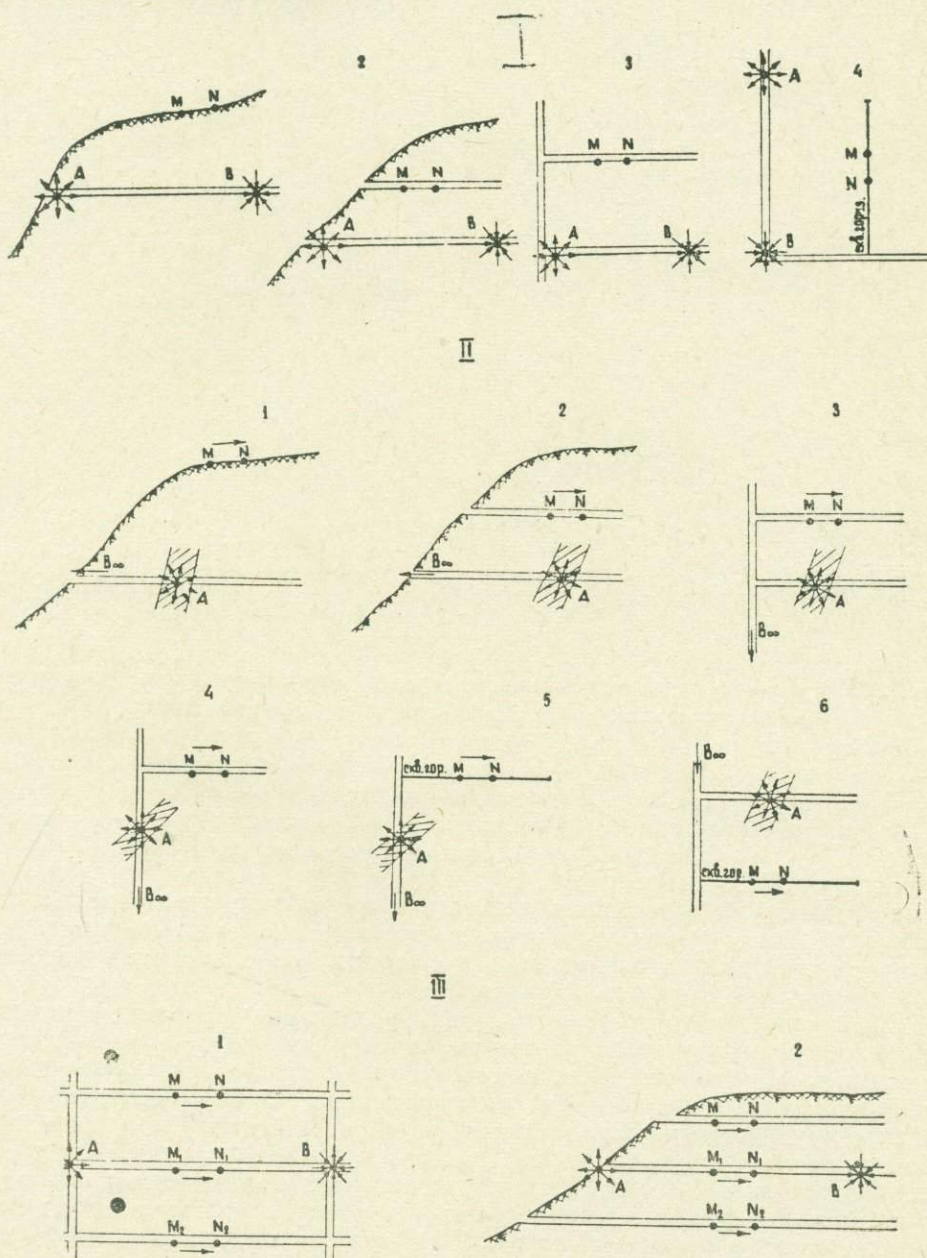


Рис. 2.34. Различные схемы наблюдений при подземном варианте метода ВП с одновременным использованием нескольких горных выработок.

В зависимости от поставленных задач, а также от размеров предполагаемых рудных тел величина приемной линии MN может изменяться от 2 до 40 м. В ряде случаев малые разносы приемной линии ($MN = 2-5$ м) применялись в горных выработках исходя из наличия интенсивных промышленных помех, а разносы порядка 10, 20 и 40 м использовались для ослабления влияния поверхностных неоднородностей (рых-

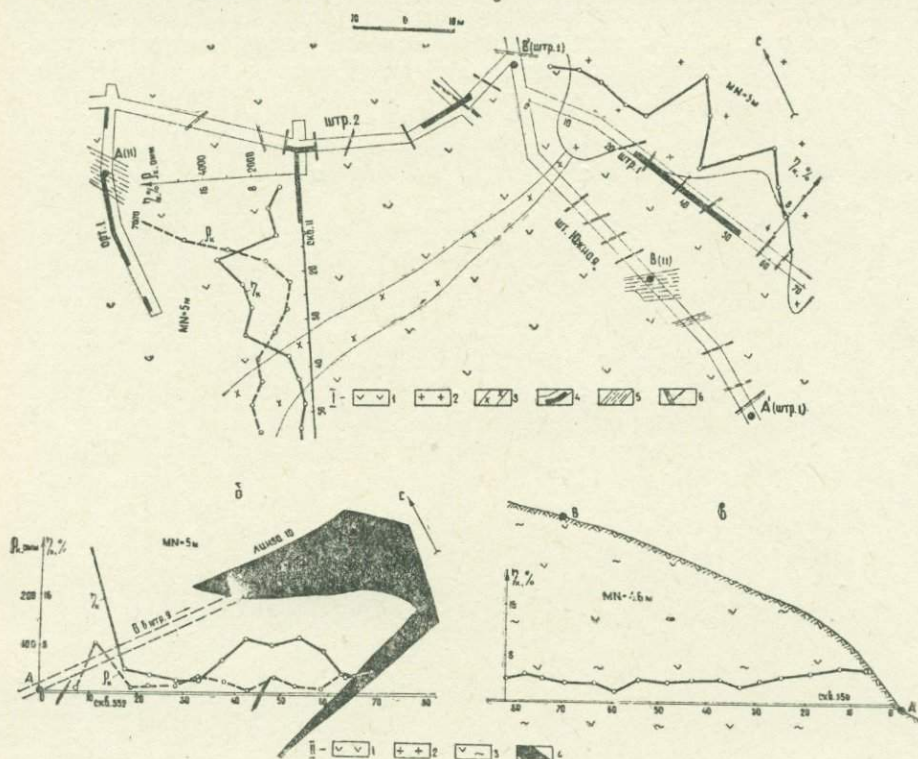


Рис. 2.35. Кривые γ_k и ρ_k , полученные при изучении межвыработочного пространства на Дастакертском (а) и Ахталском (б, в) месторождениях.

I—Дастакертское месторождение: 1—ороговикованные порфириты; 2—гранодиориты; 3—диорит-порфиритовые дайки; 4—рудные пересечения по данным опробования; 5—тектонические нарушения; 6—тектонические трещины.

II—Ахталское месторождение: 1—порфириты; 2—кварцевые порфиры; 3—измененные порфириты; 4—полиметаллическая линза 10.

лых образований, водообильных зон и различных искусственных проводников). Таким образом, выбор схемы наблюдений, разносов питающей и приемной линий, а также шага установки определяется в каждом случае с учетом конкретных условий.

Как отмечалось при рассмотрении результатов подземного зондирования, успешное производственное применение всех перечисленных установок в условиях полного пространства обусловлено благоприятным геологическим строением (когда заведомо известно, что предполагаемое оруденение или проводящая среда расположены либо выше, либо ниже горизонта наблюдений). Однако в сложных геологических условиях определение местонахождения искомого объекта методами вызванной поляризации и сопротивлений требует использования других методических приемов наблюдений. Из этих приемов можно рекомендовать дипольно-азимутальное зондирование (ДАЗ), позволяющее определить местонахождение возмущающего объекта вокруг выработки.

Другой способ пространственной интерпретации связан с использованием модификации срединного градиента, при котором, располагая питающую линию по подошве, наблюдения ведутся по подошве, кровле и стенкам выработки (рис. 2.13). Этот прием пространственной интерпретации также страдает малой глубиной, ибо при больших

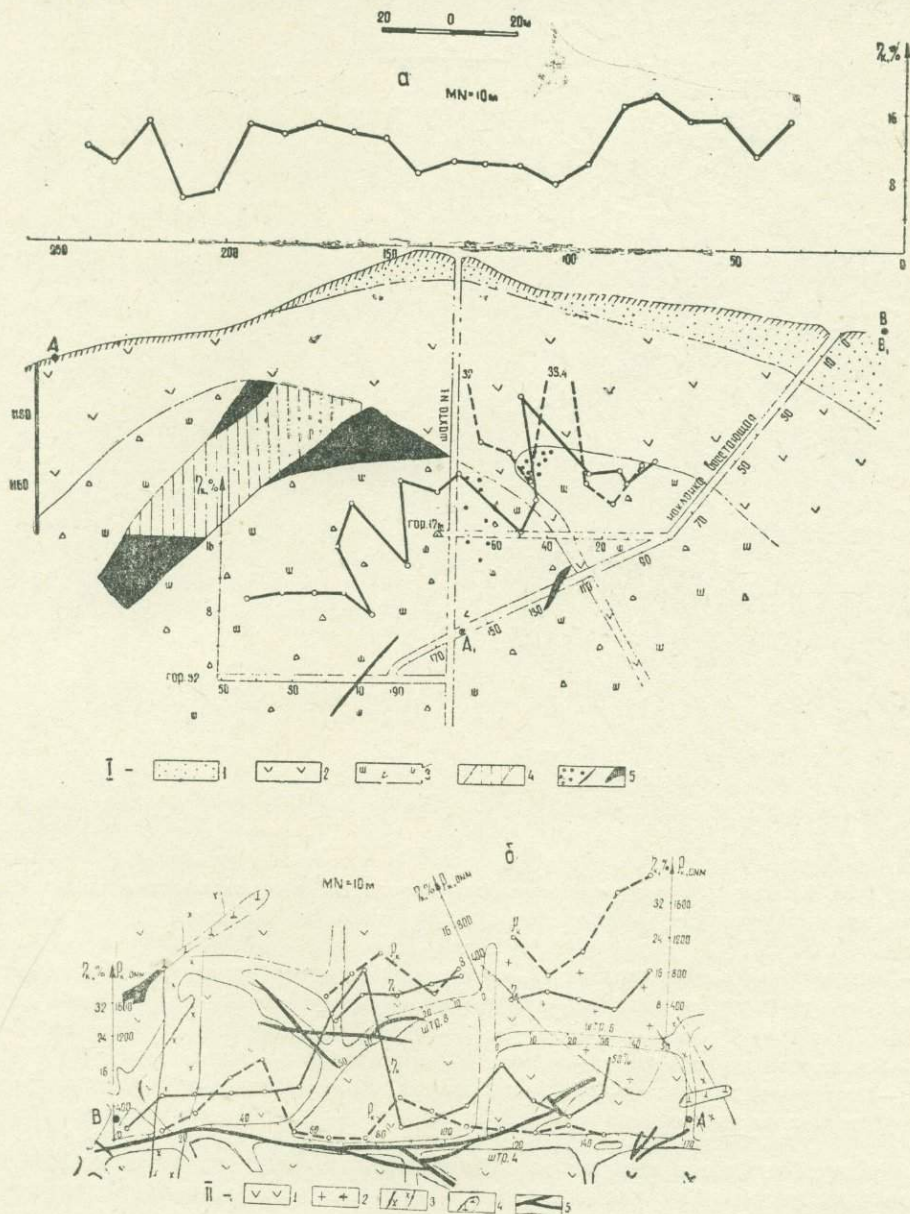


Рис. 2.36. Кривые τ_k и ρ_k , полученные при изучении межвыработочного пространства с использованием нескольких выработок на Шамлуговом (а) и Дастакертском (б) месторождениях.

I—Шамлуговое месторождение: 1—песчаники, 2—альбитофиры; 3—кератофиновые брекчии; 4—отработанные участки; 5—рудные зоны и жилы.

II—Дастакертское месторождение: 1—ороговикованные порфиры; 2—гранодиориты; 3—дайки диорит-порфиновые; 4—дайки диабаз-порфиновые; 5—медно-молибденовые руды.

разносах соотношение диаметра выработки к полуразносу может оказаться малым. В результате все четыре кривые будут одинаковыми. Следовательно, необходимую информацию о местоположении возмущающего объекта в околорудничном пространстве можно получить только при $AB=10$ м и при условии глубины залегания возмущающего объекта не более 2 м.

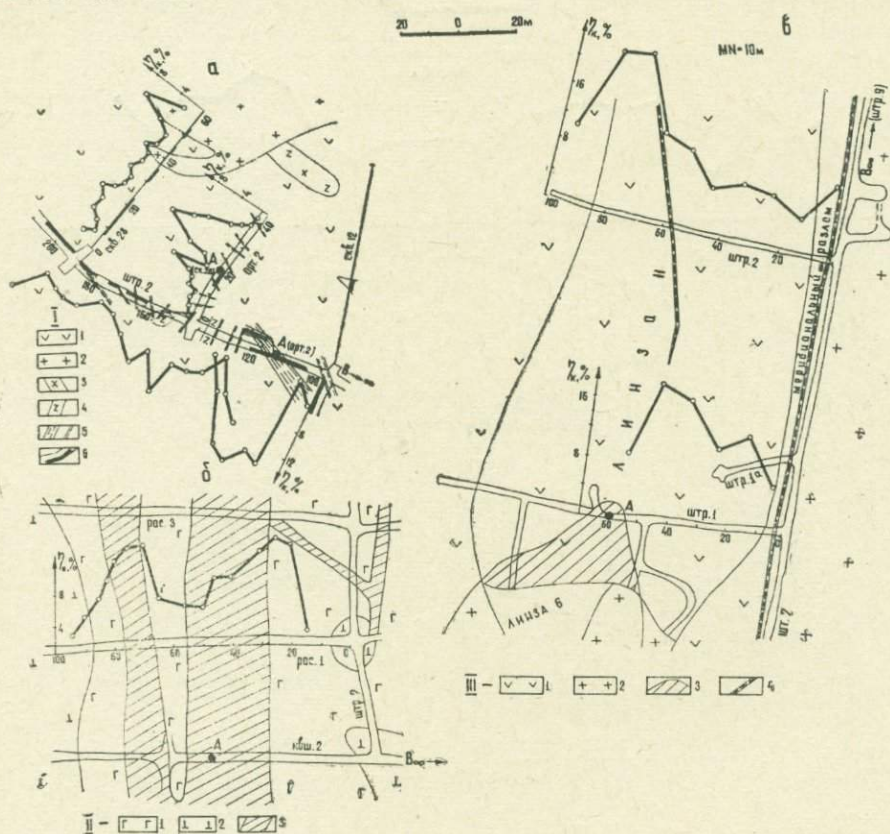


Рис. 2.37. Кривые γ_k , полученные методом заряда ВП с одновременным использованием нескольких горных выработок на Дастакертском (а), Зодском (б) и Ахталском (в) месторождениях.

I—Дастакертское месторождение: 1—ороговикованные порфиры; 2—гранодиориты; 3—диорит-порфировые дайки; 4—диабаз-порфировые дайки; 5—тектонические нарушения и трещины; 6—рудные пересечения.

II—Зодское месторождение: 1—габбро; 2—перидотиты; 3—рудные зоны.

III—Ахталское месторождение: 1—порфиры; 2—кварцевые порфиры; 3—отработанная часть полиметаллической линзы 11; 4—тектонические нарушения.

Опробование в горных выработках различных модификаций методов вызванной поляризации и сопротивлений для решения задач поисков и прослеживания оруденелых зон в околорудничном пространстве: между выработками, выработкой и скважиной и т. д., указывает на необходимость подбора рассмотренных приемов и установок наблюдений с их конкретным целевым назначением. В этой связи представляется весьма целесообразным совместное использование выработок и подземных скважин. Предложенную М. В. Семеновым классификацию скважинных вариантов метода вызванной поляризации можно применять в шахтно-рудничных условиях с внесением небольших изменений [122].

Интерпретация данных подземных наблюдений. Чтобы отличить аномалии кажущейся поляризуемости, обусловленные природными электроннопроводящими телами, от аномалий η_k , вызванных искусственными проводниками и различными помехами, следует по возможности точно установить местоположение источников помех, их характер, способы воздействия последних на результаты наблюдений. С этой целью необходимо документировать горные выработки, в которых проводятся наблюдения, отмечая на абрисе местоположение искусственных проводников, действующих установок и других источников, искажающих электрическое поле. Такая документация позволит разбраковывать полученные аномалии кажущейся поляризуемости при истолковании полевых результатов. Это есть первое и необходимое условие, которое должно выполняться при подземных наблюдениях методом ВП.

Однако практика показала, что чаще всего различные помехи (геологические неоднородности, влияние дневного и погребенного рельефа, блуждающие токи и разное шахтно-рудничное оборудование) настолько искажают полезную информацию от искомого объекта, что ее выделение и интерпретация обычными приемами становятся весьма затруднительными или даже совсем невозможными. Повышение чувствительности аппаратуры и совершенствование методики наблюдений в этом случае не дают эффекта, вследствие многообразия и несистематичности помех, учет и исключение которых сильно затруднены. Поэтому в подобных случаях следует привлечь методы теории информации и математической статистики.

Рассмотрим пример обработки с применением метода обратных вероятностей, иллюстрирующего возможности повышения контрастности аномальных графиков ВП, полученных над известным рудным телом с различными установками. Способ обратных вероятностей, как известно, преимущественно применяется для выделения полезных сигналов на изолированных профилях, когда помеха накладывается на полезный сигнал [56, 84, 131].

На рис. 2.38 представлены графики, полученные установками срединного градиента при $AB=260$ м, $MN=10$ м = шаг, комбинированного профилирования при $AM=MN=NB=20$ м и симметричного профилирования при $AM=MN=NB=20$ м по штреку 9 штольни 7 Ахтальского месторождения. Из рисунка видно, что на фоне имеющихся в подземной выработке помех установки срединного градиента и комбинированного электропрофилирования обладают большей глубиной, чем установка симметричного профилирования. В первых двух случаях получены более четкие кривые вероятности, указывающие на их связь с глубоко залегающим рудным телом, чем в третьем случае. В образовании аномалий η_k в этом случае решающую роль сыграли поверхностные неоднородности и, в первую очередь, рудоконтролирующие тектонические нарушения.

В случае отсутствия помех при подземных наблюдениях методом ВП по графику η_k можно коррелировать участки наибольшей концентрации электроннопроводящих минералов.

На рис. 2.39 изображены результаты полевых работ, полученные при проведении наземных и подземных измерений методом ВП на рудно-аурипигментовом рудном столбе, который резко отличается от других рудных тел Амасийского сурьмяно-мышьякового месторождения интенсивной минерализацией и высоким содержанием металлов. Наблюдения проводились при $AB=55$ м и $MN=5$ м.

При подземных измерениях в штольне непосредственно над рудным столбом кажущаяся поляризуемость первичных руд оказалась выше 20%. При наземном варианте вариации кривой η_k , обусловленные изменением содержания электроннопроводящих минералов, затушевываются, и поляризуемость несколько понижается. Различная поляризуе-

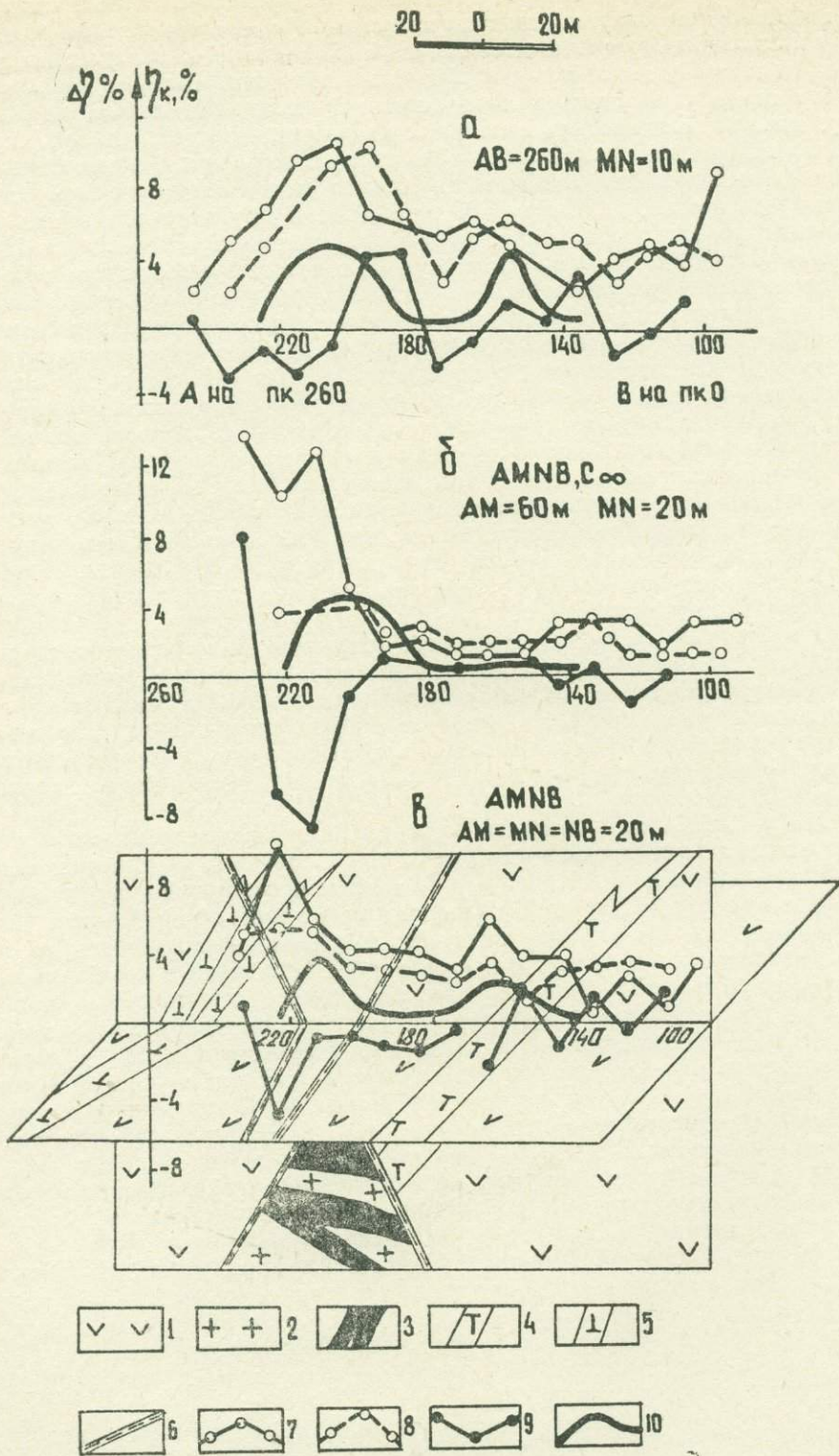


Рис. 238. Выделение аномалии ВП от глубоко залегающей рудной зоны: а—срединный градиент; б—комбинированное профилирование; в—симметричное профилирование. 1—порфириты; 2—кварцевые порфиры; 3—полиметаллические руды; 4—дайки фельзит-порфиоров; 5—дайки диабазовых порфиоров; 6—тектонические нарушения; 7—графики $\gamma_{кп+1}$ (а), $\gamma_{кас}$ (б), $\gamma_{к осн}$ (в); 8—графики $\gamma_{кп+1}$ (а), $\gamma_{кВС}$ (б), $\gamma_{к пов}$ (в); 9—графики $\Delta\gamma_k$, 10—графики вероятностей.

мость на глубине и на поверхности является результатом гипергенных изменений сульфидных руд на поверхности, выражающихся в выщелачивании этих руд и миграции элементов. Сравнение графиков поляризуемости с содержанием минералов по штольне 1 убеждает в том, что подземные измерения параметра значительно точнее отмечают локализацию электроннопроводящей минерализации в отдельных частях рудного тела.

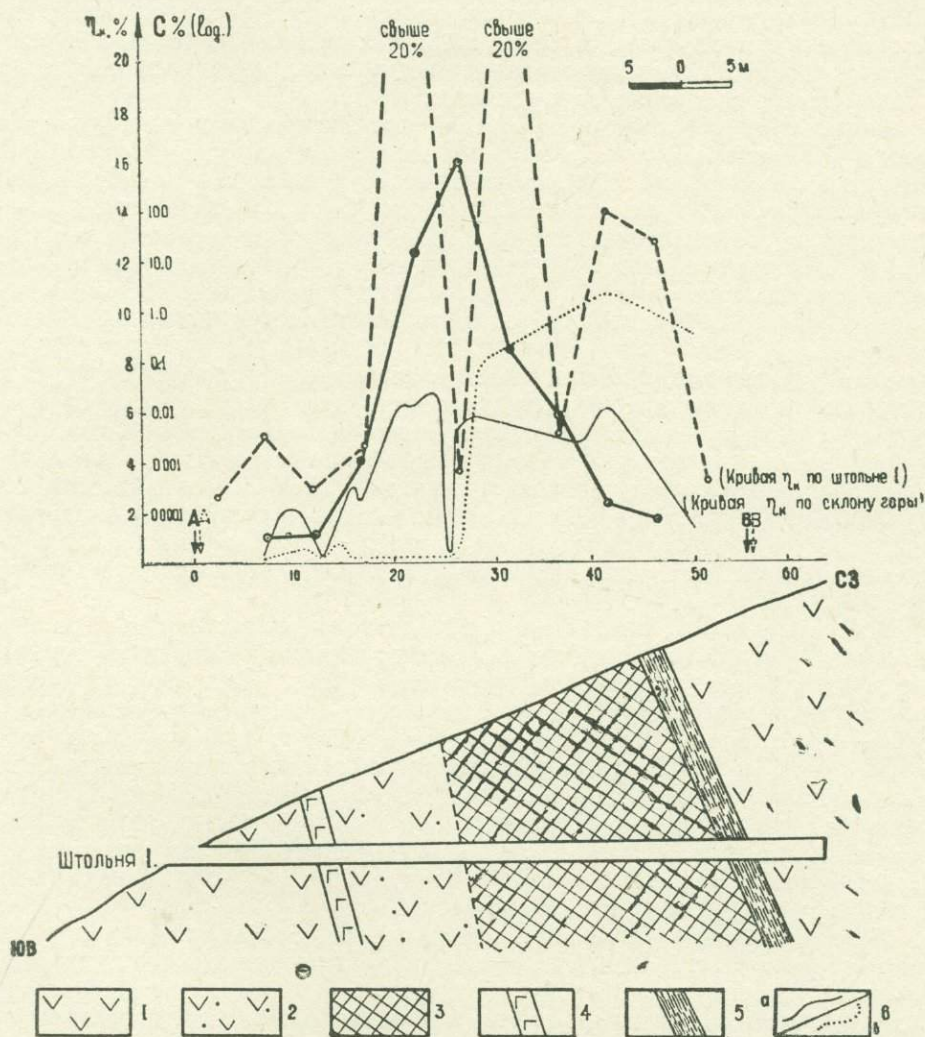


Рис. 2.39. Кривые ρ_k , полученные на поверхности земли (сплош.) и в штольне (пункт.) при расположении питающей установки на поверхности. Амасийское сурьмяно-мышьяковое месторождение.

1—дуниты; 2—дуниты с прожилково-вкрапленным реальгар-аурипигментовым оруденением; 3—сплошная реальгар-аурипигментовая руда; 4—дайка габбро-диорита; 5—лимонит; 6а—кривая суммарного содержания электроннопроводящих минералов в руде (пирит, бравойт, пирротин, марказит, арсенопирит, пентландит); 6б—кривая суммарного содержания неэлектроннопроводящих минералов в руде (реальгар, аурипигмент, антимонит).

Подземными измерениями параметра η_k реальгар-аурипигментовых руд установлено также, что поляризация однозначно коррелируется только с содержанием электроннопроводящих минералов—пирита, бравоита, пирротина, арсенопирита, марказита и вовсе не зависит от содержания главных минералов рудного столба—реальгара и аурипигмента.

Даже качественная интерпретация кривых подземного электрического зондирования часто вызывает затруднения. На характер кривой ПЭЗ-ВП могут влиять блоки разнородных пород, расположенных самым различным образом по отношению к линии наблюдений. Но если эти блоки пород осложнены геологическими неоднородностями, тогда интерпретация еще более затрудняется.

Используя палетки, построенные для подземного зондирования метода ВП, можно судить о глубине залегания контакта двухслойной среды и о ее свойствах. Но для того, чтобы узнать, где находятся эти слои (над кровлей или под подошвой выработки), необходимо либо применить другие геофизические методы, либо тщательно использовать известные данные геологии. Поэтому для получения наибольшей информации при постановке ПЭЗ-ВП выбираются такие участки на месторождениях, геологический разрез которых является наиболее благоприятным.

Для рудных тел, имеющих подчас весьма сложную форму, трудно построить теоретические палетки, особенно для условий полного пространства. По аналогии с наземными полевыми работами методом ВЭЗ глубину залегания верхней кромки тела можно оценивать по перегибу (изменению знака кривизны) на графике η_k . Этот способ в некоторых случаях дает удовлетворительные результаты, особенно когда не требуется высокой точности определения глубины тел (например, если проверочные скважины бурятся на большую глубину, чем верхняя кромка тел) [68].

Как отмечалось, исходя из определенного положения горных выработок и решаемых геологических задач, четырехэлектродное подземное зондирование заменялось трехэлектродным. При этом применялись различные схемы: AMN —последовательная градиент-установка и MNB —обращенная градиент-установка. Сопоставление установок $AMNB$, AMN и MNB при подземных зондированиях позволяет считать, что геологическая эффективность при четырехэлектродном зондировании ниже, чем при трехэлектродном. Это можно объяснить тем обстоятельством, что при трехэлектродном зондировании мы получаем больше информации как о предстоящих (впереди забоя) изменениях, так и об околывыработочном пространстве.

Следует отметить еще две специфические особенности интерпретации материалов ПЭЗ-ВП. Первая из них заключается в том, что если горная выработка, по которой проводят наблюдения, задана в среде с высоким сопротивлением и плохой поляризуемостью, то интересующий нас высокопроводящий объект, обладающий хорошей поляризуемостью независимо от его расположения по отношению к линии наблюдений, будет сравнительно легко обнаружен на кривых ПЭЗ-ВП, нежели при обратном сочетании электрических свойств. Вторая особенность заключается в том, что если горная выработка проходит посередине пласта, окруженного слоями с одинаковыми ρ и η , то распределение тока в полупространстве (наземная электроразведка) будет тождественно распределению тока в полном пространстве с симметричным относительно плоскости измерения строением. Таким образом, в этом частном случае для интерпретации подземных кривых можно пользоваться наземными палетками [146].

Пример интерпретации подземного зондирования методом ВП изображен на рис. 2.33.

В отличие от наземного варианта метода ВП, где физические параметры горных пород и руд изучаются лишь в лабораторных условиях и на обнажениях на поверхности земли, подземный вариант позволяет получить дополнительную информацию о физических параметрах рудного объекта и вмещающей среды путем непосредственного их измерения в естественном залегании на разных горизонтах, а также на флангах исследуемого рудного объекта. Это дает возможность в дальнейшем более достоверно произвести приближенную оценку запасов руды в теле.

Связь доли поляризуемости, обусловленной электроннопроводящей вкрапленностью, с концентрацией последней, может быть представлена формулой:

$$\eta^* = \frac{\beta \xi}{1 + \beta \xi}, \quad (2.17)$$

где η^* — избыточная поляризуемость среды;
 ξ — объемная концентрация вкрапленности;
 β — некоторый коэффициент, зависящий от удельного сопротивления, размеров, состава электроннопроводящих включений, а также от времени зарядки и разрядки.

По-видимому, для каждого типа руд можно установить наиболее вероятные значения β , позволяющие вычислить величину η^* и оценить концентрацию вкрапленности:

Таблица 2.6

Расчет коэффициента β для образцов полиметаллической руды

№ образца	Содержание электроннопроводящих минералов в %					η	$\beta = \frac{\eta^*}{\xi(1-\eta^*)}$
	FeS ₂	CuFeS ₂	PbS	CuS	сумма		
126	3,06	4,3	4,7	0,8	13,0	54,0	9,0
127	3,4	5,24	—	—	8,6	32,0	5,2
128	8,8	редко	—	—	8,8	18,0	10,4
134	8,05	—	—	—	8,0	40,0	8,35
2/12—55	25,0	30,0	25,0	—	80,0	31,0	0,6
2/01—60	15,0	15,0	—	—	30,0	20,0	0,8
16/21—а	5,0	—	—	—	5,0	5,8	1,3
17/16	10,0	—	—	—	10,0	32,0	4,7
4/18	60,0	—	—	—	60,0	11,5	0,2
13/11	5,0	—	—	—	5,0	6,1	1,3
11/15	7,0	—	—	—	7,0	13,0	2,1
FeS ₂ =13,5% CuFeS ₂ =5,0% PbS=2,7%						$\bar{\eta}=23,9$	$\bar{\beta}=4,0$

Расчет приближенной оценки запасов руды

Рудные тела	Размеры тела в м			Объем тела в куб. м	Поляризуемость в %			Способ измерения поляризации	$\xi = \frac{\eta^*}{\beta(1-\eta^*)}$	V _{эл} —V _ξ в тыс. куб. м
	длина	ширина	сред. мощн.		η_1 (вмещающая порода)	η_2 (руда)	η^*			
Линза 10	350	80	8	224000	2,2	11,0	9,0	шахтн.	0,0247	5,53
Линза 11	530	100	12	636000	0,7	23,9	23,0	лабораторный	0,075	47,7

Примечание. В обоих случаях β принята равной 4,0%.

$$\xi = \frac{\eta^*}{\beta(1 - \eta^*)}. \quad (2.18)$$

Поляризуемость пород, содержащих рудную вкрапленность, равна:

$$\eta_2 = \eta_1(1 - \xi) + \eta^*, \quad (2.19)$$

где η_1 — поляризуемость тех же пород за вычетом влияния вкрапленности.

После определения размеров тела и концентрации в нем электроннопроводящих минералов нетрудно оценить общее содержание таких минералов в теле по формуле:

$$V_{эл} = V\xi, \quad (2.20)$$

где V — объем тела.

Следующим этапом является вычисление содержания электроннопроводящих сульфидов в теле в процентах, с помощью которого определяется объемное содержание «полезных» сульфидов в тыс. куб. метров.

Далее, зная удельный вес сульфидных минералов, по формуле $P = Vd$ можно определить вес каждого сульфидного минерала в теле, а затем, зная содержание искоемых элементов в каждом минерале, — количество искоемых металлов в теле.

Количество искомого металла в рудном теле вычислялось двумя путями с использованием двух способов определения поляризуемости руд и вмещающих пород (лабораторный и шахтный).

При лабораторном способе определения количества металла в теле в качестве исходного фактического материала служили лабораторные определения поляризуемости, минералогического состава, объемного содержания электроннопроводящих минералов и, наконец, коэффициента β одиннадцати образцов полиметаллических руд линзы 11 (табл. 2.6) и 21 определение вмещающих пород Ахталского барит-полиметаллического месторождения.

При шахтном способе определения в основе вычислений лежали 43 случая параметрических измерений поляризуемости полиметаллических руд (непосредственно в шахте) и 128 случаев таких определений вмещающих пород. Проводимые вычисления относились к линзе 10. В обоих случаях коэффициент β был выбран равным 4,0%.

Описанный выше ход вычислений количества металла в теле для разных полиметаллических линз при различном способе измерения по-

Таблица 2.7

Объемное содержание электроннопроводящих минералов в теле в %			Объемное содержание в тыс. куб. м		Вес минералов в тыс. т		Вес металла в тыс. т		Вес металла по данным хим. анализов в тыс. т	
							d = 4,2	d = 7,5		
FeS ₂	CuFeS ₂	PbS	CuFeS ₂	PbS	CuFeS ₂	PbS	Cu CuFeS ₂ = 0,3456	Pb PbS = 0,866	Cu (A+B+C)	Pb (A+B+C)
30	10	5	1,24	0,62	5,21	4,65	1,8	4,03	1,9	4,1
13,5	5	2,7	11,25	6,07	47,25	45,53	16,33	39,43	8,7	18,4

ляризуемости представлен в табл. 2.7. Судя по полученным данным, количество меди и свинца, определенное аналитическим путем и в результате химического анализа (суммарное содержание всех категорий), отмечается удовлетворительным совпадением обоих типов определений в том случае, когда исходными данными поляризуемости для аналитических вычислений служили шахтные наблюдения. При лабораторном способе измерений поляризуемости вычисленные количества меди и свинца по линзе 11 оказались примерно вдвое больше.

ГЛАВА 3

МЕТОД БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

Идея применения промышленных, или блуждающих, электрических токов, имеющих место в районе действующих рудников, а также крупных промышленных центров, электрифицированных железных дорог, расположенных вблизи месторождений, в целях поисков и разведки полезных ископаемых была выдвинута еще в тридцатых годах нашего столетия. Однако из-за ряда трудностей практическое их применение не было полностью реализовано. К числу опубликованных работ по изучению полей промышленных токов относятся исследования М. В. Семенова, Л. И. Иоффе, В. А. Комарова [64], Р. М. Каменецкой, Ю. В. Якубовского [66] и др. [23, 24, 67, 96]. Основным выводом из этих работ явилось то, что, действительно, блуждающие токи канализируются проводящими объектами: рудными телами, зонами тектонических нарушений и т. п. Здесь же были предложены некоторые методы регистрации промышленных полей.

Физическая основа использования промышленных блуждающих токов для решения геологических задач та же, что и в методах постоянного тока электроразведки с созданием искусственных полей. Однако утилизация полей блуждающих токов сдерживается недостаточными сведениями о закономерностях их распределения в среде. Кроме того, существенным затруднением в использовании полей блуждающих токов является изменение их интенсивности во времени и неопределенное расположение и характер их источников.

Отмеченные особенности делают невозможным использование блуждающих токов при решении геологических задач с применением обычных установок для изучения характера распределения поля и способов интерпретации получаемых данных.

3.1. ХАРАКТЕР БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

Как показывают результаты экспериментальных исследований [23, 42, 43, 45, 64, 96], на рудниках основными источниками блуждающих токов являются контактные электровозы, телефонные линии и другие электромашины и установки, работающие на постоянном токе. Блуждающие токи возникают в земле от электроустановок, когда один из полюсов (отрицательный) источников постоянного тока прямым образом или по причине технического дефекта подсоединен к земле. Интенсивность блуждающих токов в данной точке определяется величиной нагрузки потребителя, сопротивлением его заземления, расстоянием от точки наблюдения и геологическим строением участка.

Блуждающие токи являются серьезной помехой при работе электроразведочными методами. Вместе с тем, с расширением технической вооруженности рудников наличие блуждающих токов на территории

разрабатываемых месторождений становится обычным явлением. Одновременно увеличиваются интенсивность блуждающих токов и сфера их распространения, что приводит к уменьшению области применения ряда методов электроразведки. Отсюда, естественно, напрашивается мысль об использовании полей блуждающих токов, имеющих место в окрестностях действующих рудников, в подземных горных выработках и скважинах, с целью выявления и прослеживания рудных объектов и оконтуривания перспективных участков. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- 1) изучить условия наблюдений и характер блуждающих токов;
- 2) выбрать измеряемый параметр, характеризующий пространственное изменение полей блуждающих токов в связи с геологическим строением обследуемых участков, и схему наблюдений;
- 3) разработать методику и технику наблюдений.

Характер изменений блуждающих токов во времени. Изменение нагрузки потребителей и сопротивления заземления электроустановок чрезвычайно неопределенно и случайно, и это непосредственно отражается на характере блуждающих токов.

Изучение последнего необходимо: для выяснения возможностей применения метода блуждающих токов, с одной стороны, и других методов электроразведки, с другой стороны, для выбора параметров изучения пространственного распределения блуждающих токов в связи с геологическим строением обследуемых участков.

Под изучением характера блуждающих токов подразумевается регистрация и анализ временного изменения их интенсивности, а также пространственного распределения полей в районе месторождения.

Сущность регистрации изменения интенсивности блуждающих токов во времени заключается в том, что на одном, заранее выбранном, пункте с помощью двух взаимно перпендикулярно расположенных приемных установок M_1N_1 и M_2N_2 проводятся стационарные наблюдения приращений разностей потенциалов $\delta\Delta U_1$ и $\delta\Delta U_2$ между электродами M_1-N_1 и M_2-N_2 . Пункт наблюдения обычно выбирается в центральной части месторождения, вблизи транспортных горных выработок, где, как правило, ожидаются интенсивные поля блуждающих токов. Приемные установки ориентируются в направлении С—Ю и В—З. Регистрация изменений разностей потенциалов проводится при помощи двухканального осциллографа, с предварительным усилением сигналов.

На рис. 3.1 представлен отрезок осциллографической записи изменения интенсивности разностей потенциалов $\delta\Delta U_1$ и $\delta\Delta U_2$ блуждающих токов, зарегистрированных установками M_1N_1 и M_2N_2 .

С целью изучения полного спектра изменения интенсивности поля регистрацию следует проводить при различных скоростях протягивания фотоленты в осциллографе. В случае кратковременных (секундных и минутных) изменений блуждающих токов удобной скоростью протягивания фотоленты в осциллографе является 1—5 см/мин, а для изучения суточного и недельного изменения — 1—3 м в сутки.

Изучение характера изменений блуждающих токов во времени удобно проводить с помощью магнитотеллурической лаборатории (МТЛ) или электроразведочной станции ВП-59 [22, 46]. Электроразведочная станция ВП-59 удобна лишь для регистрации кратковременных импульсов, а магнитотеллурическая лаборатория — как для кратковременных, так и длительных изменений полей блуждающих токов. Осциллограф магнитотеллурической лаборатории имеет дифференциальное устройство, предназначенное для изменения скорости протягивания фотоленты. Кроме того, важным качеством осциллографа МТЛ является возможность записи на более широкой фотоленте (20 см) по сравнению с осциллографом станции ВП-59.

На рис. 3.2 представлены осциллографические записи изменения разностей потенциалов на одном из месторождений Армении в пределах суток при различных скоростях протягивания фотоленты—2,1 см/мин и 5 см/час. При скорости 2,1 см/мин хорошо выделяются кратковременные импульсы, а при скорости 5 см/час отмечаются два интервала времени—от 8 до 18 и от 18 до 24 часов. Интенсивные блуждающие токи, наблюдаемые в первом интервале времени, характеризуются

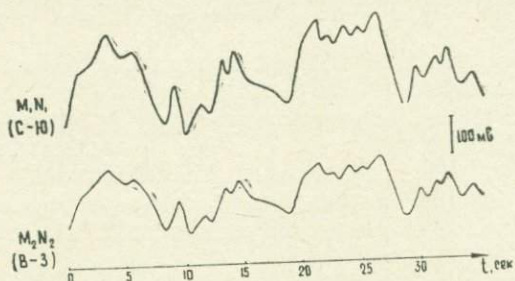


Рис. 3.1. Характер изменения блуждающих токов, зарегистрированных с помощью приемных установок M_1N_1 и M_2N_2 .

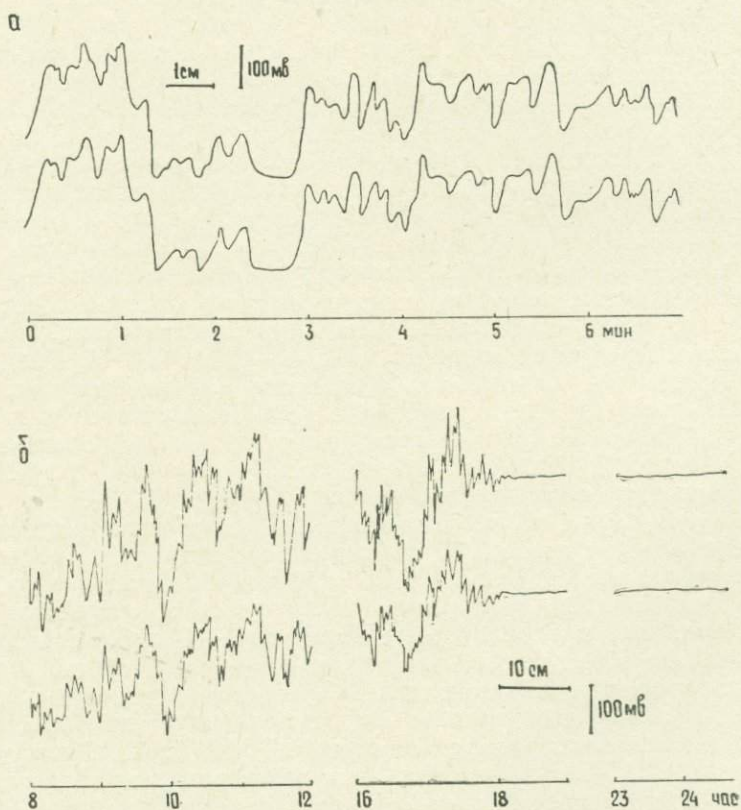


Рис. 3.2. Осциллографические записи изменения разности потенциалов блуждающих токов в различное время суток на Зодском золоторудном месторождении Армении.

а) скорость протяжки фотоленты—2 см в минуту; б) то же—10 см в час.

резкими изменениями величины поля, которые вызваны работой контактных электровозов, транспортирующих в это время суток руды и породы месторождения. Во втором интервале (18—24 часа) блуждающие токи не наблюдаются, так как в это время транспортировка и другие виды горно-проходческих работ на руднике не проводятся. Эта закономерность данного месторождения позволяет установить время наблюдения как методом блуждающих токов (с 8 до 18 часов), так и другими методами электроразведки, для которых блуждающие токи являются серьезной помехой (с 18 до 8 часов).

Результаты исследований по изучению характера изменения блуждающих токов, проведенные на другом, Шамлугском, месторождении (рис. 3.3), указывают, что на центральном участке рудного поля наблюдения методом блуждающих токов (БТ) можно проводить в интервале времени с 8 до 24 часов, а другими методами электроразведки — с 24 до 8 часов.

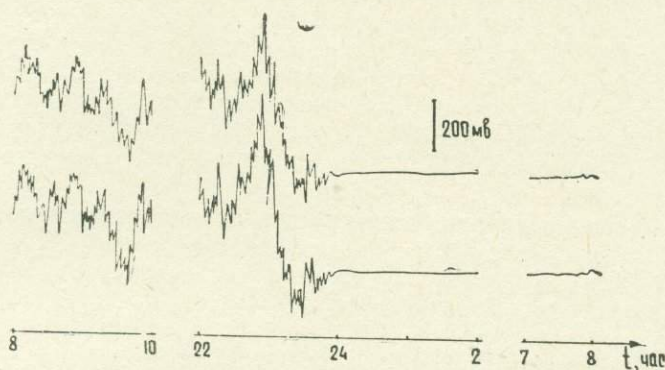


Рис. 3.3. Осциллографические записи изменения разности потенциалов блуждающих токов в различное время суток. Шамлугское месторождение.

Таким образом, регистрация блуждающих токов во времени дает возможность рационально планировать постановку комплекса геофизических методов исследований на изучаемом месторождении.

Параметр, характеризующий пространственное изменение полей блуждающих токов. Как известно, блуждающие токи, распространяясь в горных породах, сгущаются в хорошо проводящих участках, какими являются, например, рудные объекты. С этой точки зрения использование блуждающих токов может быть аналогичным использованию искусственных электрических полей в методе заряда. Они отличаются тем, что для блуждающих токов источник поля не всегда известен и, кроме того, может перемещаться в пространстве и менять мощность во времени. Последние особенности, характеризующие блуждающие токи, определяют выбор параметра измерения и исключают возможность непосредственного использования потенциала или разностей потенциалов — как это делается при работе методом заряда.

Поля блуждающих токов по характеру изменений во времени и в пространстве похожи на теллурические и отличаются от них тем, что имеют иную природу и обладают большей интенсивностью [45, 64, 157]. Учитывая подобие проявления полей блуждающих и теллурических токов, наиболее удобным параметром регистрации блуждающих токов может быть выбрано отношение приращений разностей потенциалов во времени для двух установок подобно тому, как это часто применяется при работе методом теллурических токов:

$$\Delta\psi = \frac{\delta\Delta U_n}{\delta\Delta U_b}, \quad (3.1)$$

где $\delta\Delta U_n$ —приращение разности потенциалов во времени на перемещающейся полевой установке;

$\delta\Delta U_b$ —приращение разности потенциалов во времени на неподвижной базисной установке.

Так как в параметр $\Delta\psi$ входит приращение разностей потенциалов во времени, то он характеризует лишь меняющиеся во времени промышленные токи и исключает влияние постоянных естественных и других электрических полей.

При сохранении постоянства геометрического размещения источников блуждающих токов значения $\Delta\psi$ по тому или другому профилю практически отражают градиент потенциала исследуемого поля. Если размеры полевой и базисной установок одинаковы и они располагаются в однородных вмещающих породах, то значения $\Delta\psi$ близки к единице. Над проводящими пластинами, а также пластинами высокого сопротивления величины $\Delta\psi$ отклоняются от единицы и кривая градиента потенциала имеет соответствующую характерную форму. Так, в случае заряженного проводника кривая $\Delta\psi$ представляется двумя экстремумами (положительным и отрицательным) с переходом через O над проводником.

Если базисная установка находится в пределах аномального поля, то кривая $\Delta\psi$ отклоняется от «нормальной» кривой $\Delta\psi$, полученной при базисной установке, расположенной в удалении от различного рода электрических неоднородностей. Это отклонение кривой $\Delta\psi$ сводится к тому, что, в основном, уровень нормирования становится меньше единицы и все значения $\Delta\psi$ оказываются сниженными пропорционально постоянной величине, равной отношению $\frac{\Delta U_{ан}}{\Delta U_{норм}}$. Такие изменения эквивалентны изменению масштаба записи кривой $\Delta\psi$.

Сходные изменения кривой $\Delta\psi$ происходят также при неравенстве полевой и базисной установок. Если размеры полевой установки больше базисной, то значения $\Delta\psi$ оказываются больше значений $\Delta\psi$ при равных размерах полевой и базисной установок, а уровень нормирования при этом превышает единицу. Если же размер полевой установки меньше базисной, то значения $\Delta\psi$ оказываются меньше значений $\Delta\psi$ при равных размерах полевой и базисной установок, а уровень нормирования меньше единицы.

Изменение масштабов кривой $\Delta\psi$ путем изменения положения базисной установки, а также подбора соотношения ее размеров с размерами полевой установки в некоторых случаях имеет особое значение. Так, например, на участках с большим числом мелких неоднородностей для более рельефного выявления крупных тел на кривой $\Delta\psi$ целесообразно сглаживание последней и изображение с низким уровнем нормирования. Наоборот, для выделения объектов, мало отличающихся по своим удельным электрическим сопротивлениям, более выгодными являются условия с высоким уровнем нормирования, что может быть достигнуто съемкой полевой установкой, которая по своим размерам больше базисной установки, т. е. за счет выбора пропорционального сомножителя, большего единицы.

Наблюдения блуждающих токов возможны и другими способами. Так, например, если построить кривую отношения $\frac{\delta\Delta U_n}{\delta\Delta U_b}$ (где величины $\delta\Delta U_n$ и $\delta\Delta U_b$ соответствуют значениям, полученным при одно-

временном перемещении полевой и базисной установок при постоянстве их размеров), то она будет представлять собой градиент отношения потенциалов полевого пункта к базисному $\frac{d}{dx} \left(\frac{\delta \Delta U_n}{\delta \Delta U_b} \right)$, который

обозначим в дальнейшем через $\Delta \Psi'$. В частности, при совмещении одного из электродов базисной и полевой установок и их совместном перемещении кривая $\frac{\delta \Delta U_n}{\delta \Delta U_b}$ также представляет собой градиент отно-

шений разностей потенциалов полевой установки к базисной. Характер распределения блуждающих токов можно изучить также путем наблюдения потенциала трехэлектродной (потенциальной) установкой (рис. 3.8). В этом случае можно вычислить отношение приращений потенциалов полевой точки к базисной $\Psi = \frac{\delta U_n}{\delta U_b}$, которое может служить

параметром для изучения геологического строения. При расположении базисного и полевого электродов на определенном расстоянии друг от друга и их совместном перемещении (градиентная трехэлектродная установка) параметром распределения блуждающих токов может служить градиент отношений приращений потенциалов полевой точки к базисной $\Psi' = \frac{d}{dx} \left(\frac{\delta U_n}{\delta U_b} \right)$.

Анализ кривых рассмотренных параметров блуждающих токов, которые могут быть получены при наблюдении трехэлектродными и четырехэлектродными установками, показывает, что они сходны с кривыми потенциала, градиента потенциала и производными потенциала более высокого порядка.

Выбор параметра и установки зависит от конкретных геологических условий и от блуждающих токов. Этот вопрос более подробно рассмотрен далее.

Условия наблюдений блуждающих токов. Поскольку метод основан на изучении характера распределения блуждающих токов, то его можно применить лишь в электрифицированных районах.

Как и для других методов электроразведки, искажающими факторами полей блуждающих токов при их наблюдении на поверхности земли являются рельеф местности и рыхлые отложения, влияние которых на характер распределения полей постоянного тока широко освещено в специальной литературе [93, 94, 134].

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

К указанным условиям и факторам относятся:

1. Перенос точек наблюдения в подземных горных выработках обеспечивает приближение к искомым объектам, что, в свою очередь, приводит к возрастанию величины аномалий, следовательно, к увеличению возможностей метода при поисках и прослеживании рудных объектов, расположенных на глубоких горизонтах.

2. Подземные горные выработки различных горизонтов образуют обычно объемную сеть, позволяющую проводить по ним геофизические наблюдения. Благодаря этому становится возможным изучение распределения полей блуждающих токов в пространстве, что позволяет уточнить положение пород и руд в пространстве.

3. Горная выработка, как известно, является воздушным пространством с бесконечно высоким сопротивлением. В связи с этим характер распределения полей блуждающих токов в пространстве, вблизи

горной выработки, меняется. Однако практически этот фактор одинаковым образом влияет на числители и знаменатели отношений $\frac{\delta U_n}{\delta U_0}$,

$\frac{d}{dx} \left(\frac{\delta U_n}{\delta U_0} \right)$, $\frac{\delta \Delta U_n}{\delta \Delta U_0}$ и $\frac{d}{dx} \left(\frac{\delta \Delta U_n}{\delta \Delta U_0} \right)$, которые и являются параметрами изучения блуждающих токов. Следовательно, влияние горной выработки на параметры Ψ , Ψ' , $\Delta\Psi'$ и $\Delta\Psi'$ практически невелико.

Наиболее существенным является вопрос о мешающей роли электрических неоднородностей, обусловленных рельсами, всевозможными металлическими конструкциями, обводненными зонами и т. п. Для решения этого вопроса были проведены специальные экспериментальные исследования непосредственно на ряде рудников. Наблюдения приращений потенциалов и разностей потенциалов велись по профилям вдоль и вкрест направления простираения рельсов и металлических труб. На рис. 3.4 представлены геологический разрез по одному из

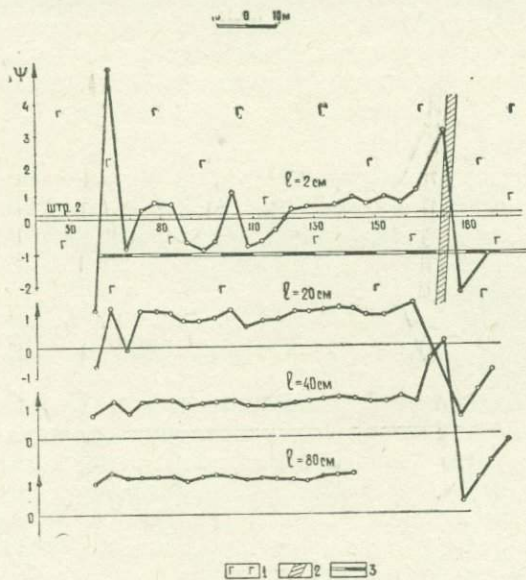


Рис. 3.4. Геологический разрез по штреку 2 штольни 5 Зодского месторождения и кривые $\Delta\Psi$, полученные по профилям, расположенным параллельно рельсу на расстоянии $l=2, 20, 40$ и 80 см.
1 — габбро; 2 — сульфидная жила; 3 — рельсы.

штреков Зодского золоторудного месторождения и кривые отношений приращений разностей потенциалов блуждающих токов, снятые по профилям, параллельным рельсам на расстоянии $l=2, 20, 40$ и 80 см от одного из них. Источником блуждающих токов являлись рельсы с движущимся электровозом по транспортной штольне 25, расположенной почти параллельно профилям наблюдений и ниже них на 100 м. Рельсы штрека и штольни 25 не имеют между собой непосредственной связи. Кривая, полученная по профилю $l=2$ см, характеризуется резкими изменениями $\Delta\Psi$ в интервалах $55-120$ и $165-180$. Первая из отмеченных аномалий территориально приурочена к концу рельса,

а вторая—к рудной жиле, которая несет сульфидную минерализацию и по своей электропроводности резко отличается от вмещающих пород—габбро. С удалением от рельса интенсивность первой аномалии уменьшается и уже на расстоянии 40—80 см становится практически незначительной. Аномалии на всех профилях в районе жилы (пк 165—180) имеют одинаковую форму и характеризуются одной и той же интенсивностью.

Данные о влиянии рельсов на величину отношения приращений разностей потенциалов представлены на рис. 3.5. Источником блуждающих токов при измерении являлись рельсы транспортной штоль-

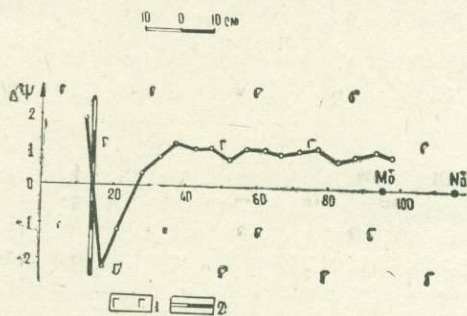


Рис. 3.5. Геологический план и кривая $\Delta\Psi$, отнаблюдаемая вкрест простирания рельса в штольне 25 Зодского месторождения.
1 — габбро; 2 — рельсы.

ни, расположенной на расстоянии 100 м от профиля наблюдения. Транспортная и исследуемая выработки металлическими конструкциями между собой не связаны. При измерении базисная установка с разном 20 см располагалась на расстоянии 1 м от рельса по стенке выработки.

Кривая, полученная по этому профилю, характеризуется аномалией $\Delta\Psi$ с экстремальными значениями, равными ± 2 над рельсом. С удалением от последнего аномалия уменьшается и на расстоянии 30 см величина $\Delta\Psi$ становится равной единице. Аналогичные исследования проводились и на других месторождениях, и нигде заметных аномалий, связанных с шахтно-рудничным металлическим оборудованием, не наблюдалось. Однако во всех случаях между рельсами или другими металлическими конструкциями транспортной и разведочной выработок не было непосредственной связи; в противном случае шахтно-рудничное оборудование может быть серьезной помехой.

3.2. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА НАБЛЮДЕНИЙ МЕТОДОМ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ

При наземных исследованиях изучение характера распределения полей блуждающих токов небольшой интенсивности проводится обычно следующим образом. Выбирается бесконечно удаленная точка, расположенная за пределами поля БТ. Выбор этой точки проводится путем наблюдения изменения разностей потенциалов по профилю, проходящему от центра месторождения к его периферии. Наблюдения проводятся при помощи двух пар взаимно перпендикулярных установок. Одна из них, неподвижная, располагается в центральной части месторождения, а вторая перемещается по профилю наблюдения (рис. 3.6). Размеры всех четырех установок берутся одинаковыми—50—100 м. Наблюдения проводятся через 50—100 м.

Подвижные установки располагаются рядом с неподвижными и при помощи четырехлучевого осциллографа одновременно записывают изменения разностей потенциалов на всех четырех установках. После этого подвижная установка перемещается по заранее подготовленному профилю на 50—100 м от центра к периферии месторождения и реги-

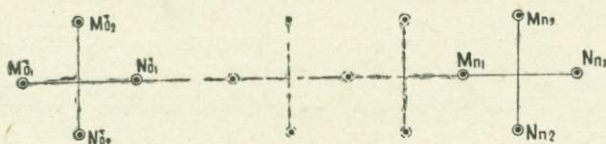


Рис. 3.6. Схема расположения взаимно перпендикулярных приемных установок для изучения характера полей блуждающих токов.

стрируется изменение потенциала во времени и т. д., пока на подвижных установках изменения разностей потенциалов блуждающих токов не станут близкими к нулю, т. е. фиксируется отсутствие блуждающих токов. В районе последнего полевого пункта выбирается нулевая точка для изучения характера изменений блуждающих токов и области распространения поля на территории данного месторождения.

На рис. 3.7 представлена осциллографическая запись изменений разностей потенциалов, полученная при выборе нулевой точки.

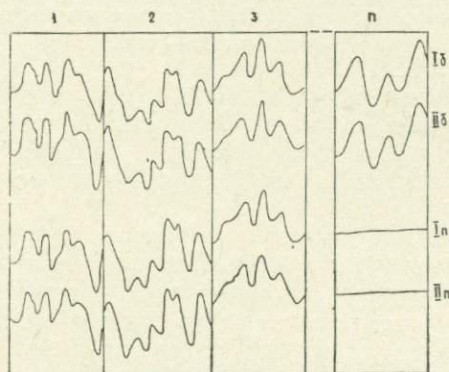


Рис. 3.7. Осциллографическая запись изменений разностей потенциалов блуждающих токов, полученная при выборе нулевой точки на Зодском месторождении.

Изучения характера и области распространения поля БТ проводятся трехэлектродной установкой. Один из электродов, условно называемый бесконечным, устанавливается на заранее выбранной нулевой точке, расположенной за пределами поля блуждающих токов, а другой (базисный) — в центральной части месторождения. Эти два электрода остаются неподвижными в течение всего периода наблюдений на территории изучаемого месторождения. Третий электрод (полевой) перемещается по заранее разбитой сети.

На базисной и полевой точках проводится одновременная регистрация изменений потенциала блуждающих токов по отношению к бесконечно удаленной точке. Эта регистрация может проводиться, например, электроразведочной станцией ВП-59 без пульта управления. Станция располагается на базисной точке. Электрод, расположенный на

бесконечно удаленной точке, как общий нулевой, присоединяется к выводам N_1 и N_2 соответствующих каналов «ПР» и «ВП» усилителя станции ВП-59. Неподвижный (базисный) электрод присоединяется к входу M_1 канала «ПР», а полевой электрод—к входу M_2 канала «ВП» (рис. 3.8).

Подвижный электрод устанавливается на первой точке наблюдения, и проводится одновременная регистрация изменения потенциала блуждающих токов во времени на базисной и полевой точках по отношению к бесконечно удаленной точке. Время регистрации обычно составляет 5—20 сек. При регистрации оператор обязан записать несколько четко выраженных импульсов (рис. 3.9). После этого полевой электрод переставляют на вторую точку наблюдения и проводят регистрацию и т. д.

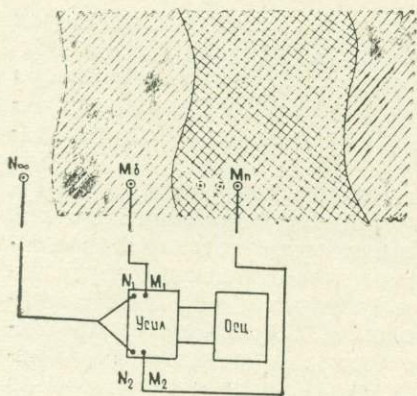


Рис. 3.8. Схема трехэлектродной потенциальной установки для регистрации блуждающих токов.

Обработка фотозаписей потенциала блуждающих токов проводится следующим образом:

1. Нумеруются кадры на осциллографической ленте соответственно записям в полевом дневнике.

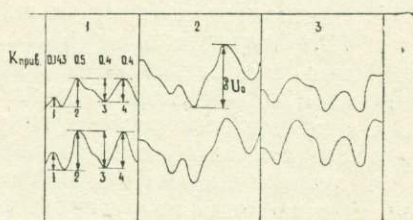


Рис. 3.9. Методика обработки осциллографической записи блуждающих токов.

2. На базисном канале осциллографической записи ленты выбирается один наиболее четко выраженный импульс с максимальной амплитудой (рис. 3.9).

3. На каждом кадре обоих каналов (базисный и полевой) вертикальными линиями выделяют 3—5 четко выраженных импульсов. Затем к кривым с экстремальными значениями импульсов проводят касательные, отмечая их амплитуды (рис. 3.9). При помощи эталонных кривых используемых электроразведочных станций (ВП-59, МТЛ и т. п.) определяют изменение значения потенциалов всех отмеченных импульсов, и результаты записывают на осциллографической ленте рядом с импульсом.

4. Для учета времени как фактора изменения блуждающего тока вычисляют коэффициенты приведения $K_{пр}$ к моменту расчета по формуле:

$$K_{пр, i} = \frac{\delta U_{\delta, i}}{\delta U_{\delta, 0}}, \quad (3.2)$$

где $K_{пр, i}$ — коэффициент приведения i -го импульса;
 $\delta U_{\delta, 0}$ — приращение потенциала нулевого импульса базисного канала;
 $\delta U_{\delta, i}$ — приращение потенциала i -го импульса базисного канала.

Эти коэффициенты приведения приписываются соответствующим импульсам базисного канала.

5. Для всех импульсов полевого канала определяют величины приведенного значения приращения потенциала по формуле:

$$\delta U_{n,пр,i} = \frac{\delta U_{n,i}}{K_{пр,i}}, \quad (3.3)$$

где $\delta U_{n,пр,i}$ — приведенное значение приращения потенциала i -го импульса полевого канала;

$\delta U_{n,i}$ — записанное его значение.

Вычисленные приведенные значения приращения потенциала всех импульсов одного кадра должны быть одинаковыми.

6. Строятся эквипотенциальная карта блуждающих токов для исследуемого участка и кривые потенциала по профилям наблюдений. Полезно также вычислить значения Ψ и построить соответствующие кривые.

При сложных полях блуждающих токов и при небольших размерах области его распространения выгодно применить трехэлектродную градиентную установку с вычислением и построением кривых параметра Ψ . Когда же эта область имеет большие размеры, то применимы четырехэлектродные потенциальные и градиентные установки с регистрацией параметров $\Delta\Psi$ и $\Delta\Psi'$.

Предлагается следующая методика и техника измерений:

1. При параллельном расположении транспортной и разведочной выработок для регистрации приращений разностей потенциалов применяется обычная схема, заимствованная из метода теллурических токов с одинаковыми размерами установок (четырёхэлектродная потенциальная установка) и наращиванием профилей. Первый интервал снимается по обычной методике. После этого базисная установка M_0N_0 переносится на один из участков профиля, расположенного вне пределов исследованного интервала. Новый пункт базисной установки выбирается таким образом, чтобы с него при данном максимальном расстоянии базисной и полевой установок можно было перекрыть 3—5 точек первого интервала. С нового базисного пункта снимается профиль в ту и другую сторону. После того, как второй интервал исследован, переходят на третий и т. д.

Если базисные пункты выбраны в более или менее одинаковых условиях, т. е. $\rho_1 \approx \rho_2 \approx \rho_3 \dots$, кривые отношений приращений разностей потенциалов профиля на перекрывающихся участках должны совпадать. На практике трудно выбрать участки, которые были бы расположены на одинаковых расстояниях друг от друга и с одинаковыми условиями. Поэтому можно считать достаточным выбор одного базисного пункта в нормальной среде, интервал которого считается основным. Полученные кривые отношений разностей потенциалов от остальных интервалов совмещаются с графиком, снятым на основном интервале.

Обработка полученных осциллографических записей проводится аналогично принятой в методе теллурических токов. По результатам строится кривая отношений приращений разностей потенциалов $\Delta\Psi$ [43].

В аналогичных условиях при небольших размерах площади распространения поля блуждающих токов для регистрации приращений потенциалов применяется трехэлектродная потенциальная установка с наращиванием профилей. Методика регистрации такая же.

2. В практике параллельные и строго прямые горные выработки встречаются редко. Поэтому требуется оценить допустимый предел отклонения направлений выработок, при которых потенциал, разность потенциалов и их приращения в однородной среде между двумя точками, расположенными на определенном расстоянии друг от друга, по всей длине разведочной выработки можно считать практически постоянными.

Для решения данной задачи рассмотрим две выработки — транспортную и разведочную (рис. 3.10). Угол между направлениями выработок в интервале AB обозначим через α , а в интервале BC — через β . Предположим, что базисный пункт при наблюдении четырехэлектродной потенциальной установкой расположен в интервале AB , а полевой пункт — в интервале BC (рис. 3.10,а).

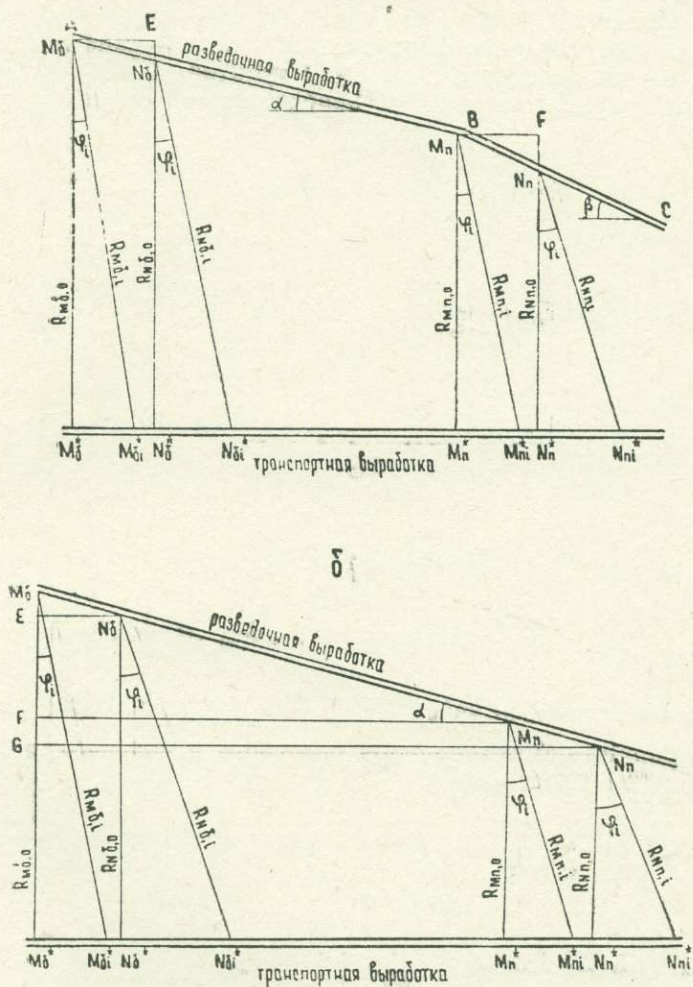


Рис. 3.10. Некоторые возможные варианты расположения транспортных и разведочных горных выработок относительно друг к другу.

Приращения разностей потенциалов на базисном и полевом пунктах выражаются следующим образом:

$$\delta\Delta U_{\delta} = \delta U_{M_{\delta}} - \delta U_{N_{\delta}}; \quad (3.4)$$

$$\delta\Delta U_n = \delta U_{M_n} - \delta U_{N_n}. \quad (3.5)$$

Потенциал линейного источника, расположенного в однородной среде, определяется по формуле:

$$U = \frac{I\rho}{4\pi R_0} \int_0^{\pi/2} \cos\varphi d\varphi, \quad (3.6)$$

где I — величина тока;

ρ — удельное электрическое сопротивление среды;

R_0 — расстояние точки наблюдения от источника поля;

φ — угол между R_0 и R .

В таком случае, согласно формуле (3.6), приращения потенциалов на приемных точках базисного и полевого пунктов (M_{δ} , N_{δ} , M_n , N_n) при некотором приращении тока δI определяются следующими формулами:

$$\delta U_{M_{\delta}} = \frac{\delta I \rho}{4\pi R_{M_{\delta}}} \int_0^{\pi/2} \cos\varphi d\varphi; \quad (3.7)$$

$$\delta U_{N_{\delta}} = \frac{\delta I \rho}{4\pi R_{N_{\delta}}} \int_0^{\pi/2} \cos\varphi d\varphi; \quad (3.8)$$

$$\delta U_{M_n} = \frac{\delta I \rho}{4\pi R_{M_n}} \int_0^{\pi/2} \cos\varphi d\varphi; \quad (3.9)$$

$$\delta U_{N_n} = \frac{\delta I \rho}{4\pi R_{N_n}} \int_0^{\pi/2} \cos\varphi d\varphi, \quad (3.10)$$

где $R_{M_{\delta}}$, $R_{N_{\delta}}$, R_{M_n} и R_{N_n} — расстояния M_{δ} , N_{δ} , M_n и N_n от источника поля.

Подставляя значения $\delta U_{M_{\delta}}$, $\delta U_{N_{\delta}}$, δU_{M_n} , δU_{N_n} в формулы (3.4) и (3.5), для приращений потенциалов базисного и полевого пунктов получим следующие выражения:

$$\delta \Delta U_{\delta} = \frac{\delta I \rho}{4\pi} \left(\frac{1}{R_{M_{\delta}}} - \frac{1}{R_{N_{\delta}}} \right) \int_0^{\pi/2} \cos\varphi d\varphi; \quad (3.11)$$

$$\delta \Delta U_n = \frac{\delta I \rho}{4\pi} \left(\frac{1}{R_{M_n}} - \frac{1}{R_{N_n}} \right) \int_0^{\pi/2} \cos\varphi d\varphi. \quad (3.12)$$

Из вышеуказанных условий оценки допустимого предела отклонения выработки при данных величинах MN и $L_{\text{макс.}} = M_{\delta}N_n$ следует:

$$\frac{\delta \Delta U_n - \delta \Delta U_{\delta}}{\delta \Delta U_n} \leq 0.05. \quad (3.13)$$

Подставляя в (3.13) значения $\delta \Delta U_{\delta}$ и $\delta \Delta U_n$ из формул (3.11) и (3.12), получим:

$$\frac{\frac{\delta I \rho}{4\pi} \left(\frac{1}{R_{M_n}} - \frac{1}{R_{N_n}} - \frac{1}{R_{M_{\delta}}} + \frac{1}{R_{N_{\delta}}} \right) \int_0^{\pi/2} \cos\varphi d\varphi}{\frac{\delta I \rho}{4\pi} \left(\frac{1}{R_{M_n}} - \frac{1}{R_{N_n}} \right) \int_0^{\pi/2} \cos\varphi d\varphi} \leq 0.05. \quad (3.14)$$

Откуда:

$$\frac{\frac{1}{R_{M_n}} - \frac{1}{R_{N_n}} - \frac{1}{R_{M_\delta}} + \frac{1}{R_{N_\delta}}}{\frac{1}{R_{M_n}} - \frac{1}{R_{N_n}}} \leq 0.05. \quad (3.15)$$

После некоторых преобразований получим:

$$\frac{\Delta R_n \cdot R_{M_\delta} \cdot R_{N_\delta} - \Delta R_\delta \cdot R_{M_n} \cdot R_{N_n}}{\Delta R_n \cdot R_{M_\delta} \cdot R_{N_\delta}} \leq 0.05, \quad (3.16)$$

где

$$\Delta R_n = R_{N_n} - R_{M_n};$$

$$\Delta R_\delta = R_{N_\delta} - R_{M_\delta}.$$

Из формулы (3.16) следует:

$$1 - \frac{\Delta R_\delta}{\Delta R_n} \cdot \frac{R_{N_n} \cdot R_{M_n}}{R_{N_\delta} \cdot R_{M_\delta}} \leq 0.05. \quad (3.17)$$

Из треугольников $M_\delta EN_\delta$ и $M_n EN_n$ (3.10,а)

$$\Delta R_\delta = M_\delta \cdot N_\delta \cdot \sin \alpha;$$

$$\Delta R_n = M_n N_n \cdot \sin \beta.$$

Подставляя значения ΔR_δ и ΔR_n в неравенство (3.17), получим:

$$1 - \frac{M_\delta N_\delta \sin \alpha}{M_n N_n \sin \beta} \cdot \frac{R_{N_n} \cdot R_{M_n}}{R_{N_\delta} \cdot R_{M_\delta}} \leq 0.05, \quad (3.18)$$

где $M_\delta N_\delta = M_n N_n$. Следовательно, неравенство (3.18) примет вид:

$$1 - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cdot \frac{R_{N_n} \cdot R_{M_n}}{R_{N_\delta} \cdot R_{M_\delta}} \leq 0.05. \quad (3.19)$$

Поскольку $R_{M_\delta} \approx R_{N_\delta}$; $R_{M_n} \approx R_{N_n}$, то:

$$1 - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \cdot \frac{R_n^2}{R_\delta^2} \leq 0.05. \quad (3.20)$$

При малых углах ($\sin \alpha \approx \alpha$) уравнение (3.20) можно представить в виде:

$$1 - \frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{R_n^2}{R_\delta^2} \leq 0.05. \quad (3.21)$$

Следовательно, $1.1 R_\delta \geq \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} R_n \geq 0.9 R_\delta$. (3.22)

С помощью неравенства (3.22) при данном расстоянии между разведочной и транспортной горными выработками можно определить предельное расстояние полевого пункта от базисного, при котором горные выработки считаются практически параллельными и допустимая ошибка наблюдаемой величины $\Delta \Psi$ не превышает $\pm 5\%$.

Если транспортная и разведочная выработки прямые, т. е. $\beta = \alpha = \dots = \text{const}$ (рис. 3.10,б), неравенство (3.22) примет вид:

$$1.1R_{\delta} \geq R_n \geq 0.9R_{\delta}. \quad (3.23)$$

Из треугольника $M_{\delta}FM_n$ (рис. 3.10,б)

$$L_{\max} \leq \frac{R_{\delta} - R_n}{\sin \alpha}. \quad (3.24)$$

Подставляя значение R_n из неравенства (3.23) в формулу (3.24) и принимая $\sin \alpha = \alpha$, получим:

$$L_{\max} \leq \frac{0.1R_{\delta}}{\alpha} \quad (3.25)$$

или

$$\alpha \leq \frac{0.1R_{\delta}}{L_{\max}}, \quad (3.26)$$

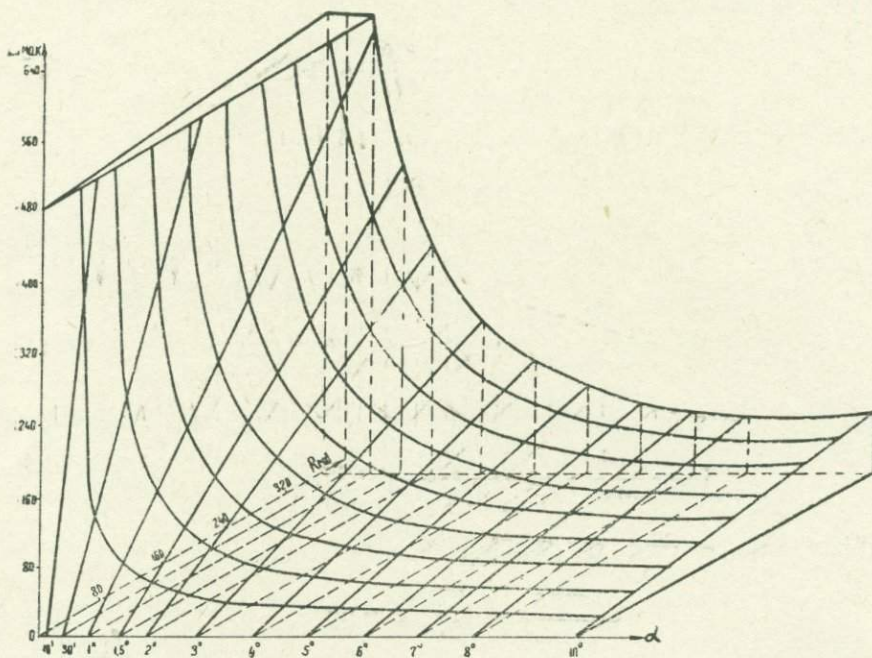


Рис. 3.11. Номограмма зависимости L_{\max} от R_{δ} и α .

где α — допустимый предел отклонения направлений транспортной и разведочной выработок при определенном L_{\max} .

Таким образом, с помощью неравенства (3.26) можно определить допустимый угол отклонения транспортной выработки от разведочной для требуемого L_{\max} .

С помощью формул (3.25) и (3.26) построена номограмма для определения предельных значений L_{\max} при различных величинах α и MN (рис. 3.11).

3. Вопрос интерпретации полученных данных по схеме, заимствованной из метода теллурических токов, усложняется при недопустимо большой величине отклонения направлений транспортной выработки от разведочной. В этом случае предлагается рассчитать абсолютное значение приращения блуждающих токов при данном приращении разнос-

тей потенциалов на базисном пункте. После этого обратным расчетом необходимо найти величину приращения разностей потенциалов на соответствующем полевом пункте — $\delta\Delta U_n$. Такие расчеты делаются для всех полевых пунктов профиля, и строится график отношений разностей потенциалов полевых пунктов к измеряемым значениям приращений разностей потенциалов на базисном пункте. При этом среда принимается однородной.

Пусть имеются транспортная и разведочная горные выработки, расположенные друг к другу под углом α (рис. 3.10,б). Из формулы (3.11)

$$\delta I(t_2 - t_1) = \frac{4\pi \cdot \delta\Delta U_\delta(t_2 - t_1)}{\rho \left(\frac{1}{R_{M_\delta}} - \frac{1}{R_{N_\delta}} \right) \int_0^{\pi/2} \cos\varphi d\varphi}, \quad (3.27)$$

где $\delta I(t_2 - t_1)$ — приращение тока, соответствующее данному приращению разностей потенциалов базисного пункта в период времени $t_2 - t_1$.

По значению $\delta I(t_2 - t_1)$ можно рассчитать величину $\delta\Delta U_n(t_2 - t_1)$ по формуле:

$$\delta\Delta U_n = \frac{\delta I \rho}{4\pi} \left(\frac{1}{R_{M_n}} - \frac{1}{R_{N_n}} \right) \int_0^{\pi/2} \cos\varphi d\varphi. \quad (3.28)$$

Из треугольников $M_\delta M_n F$ и $M_\delta N_n G$ (рис. 3.10,б):

$$R_{M_n} = R_{M_\delta} - M_\delta M_n \sin\alpha, \quad R_{N_n} = R_{M_\delta} - M_\delta N_n \sin\alpha. \quad (3.29)$$

Подставляя значения R_{M_n} и R_{N_n} в формулу (3.28), получим:

$$\delta\Delta U_n(t_2 - t_1) = \frac{\delta I(t_2 - t_1) \delta}{4\pi} \left(\frac{1}{R_{M_\delta} - M_\delta M_n \sin\alpha} - \frac{1}{R_{M_\delta} - M_\delta N_n \sin\alpha} \right) \int_0^{\pi/2} \cos\varphi d\varphi. \quad (3.30)$$

Расчетные значения разностей потенциалов на полевых пунктах можно получить и более коротким путем, если нет необходимости определять величину приращения утекаемого тока при данном $\delta\Delta U_\delta$:

$$\frac{\delta\Delta U_{n,\tau}}{\delta\Delta U_{\delta,\tau}} = \frac{\frac{1}{R_{M_\delta} - M_\delta M_n \sin\alpha} - \frac{1}{R_{M_\delta} - M_\delta N_n \sin\alpha}}{\frac{1}{R_{M_\delta}} - \frac{1}{R_{M_\delta} - M_\delta N_\delta \sin\alpha}}. \quad (3.31)$$

После некоторых преобразований уравнение (3.31) примет вид:

$$\frac{\delta\Delta U_{n,\tau}}{\delta\Delta U_{\delta,\tau}} = \frac{R_{0,M_\delta} \cdot (R_{0,M_\delta} - M_\delta N_\delta \sin\alpha)}{(R_{0,M_\delta} - M_\delta M_n \sin\alpha)(R_{0,M_\delta} - M_\delta N_n \sin\alpha)}. \quad (3.32)$$

Из (3.32) находим:

$$\delta\Delta U_{n,\tau} = \frac{\delta\Delta U_{\delta,\tau} \cdot R_{0,M_\delta} (R_{0,M_\delta} - M_\delta N_\delta \sin\alpha)}{(R_{0,M_\delta} - M_\delta M_n \sin\alpha)(R_{0,M_\delta} - M_\delta N_n \sin\alpha)}. \quad (3.33)$$

Составляем ряд отношений приращений разностей потенциалов полевых пунктов, рассчитанных по формуле (3.33), к экспериментальным:

$$\sum_{i=1}^k \frac{\partial \Delta U_{n,\tau,i}}{\partial \Delta U_{\delta,\tau,i}} = \frac{\partial \Delta U_{n,\tau,1}}{\partial \Delta U_{\delta,\tau,1}}; \frac{\partial n U_{n,\tau,2}}{\partial n U_{\delta,\tau,2}}; \dots \quad (3.34)$$

По осциллограммам с помощью эталонных кривых определяются приращения разностей потенциалов на полевых пунктах:

$$\sum_{j=1}^k \delta \Delta U_{n,\tau,j} = \delta \Delta U_{n,\tau,1}; \delta \Delta U_{n,\tau,2}; \dots \quad (3.35)$$

Составляется ряд отношений экспериментальных значений приращения разностей потенциалов полевых пунктов соответственно к базисному:

$$\sum \frac{\delta \Delta U_{n,\tau,j}}{\delta \Delta U_{\delta,\tau,j}} = \frac{\delta \Delta U_{n,\tau,1}}{\delta \Delta U_{\delta,\tau,1}}; \frac{\delta \Delta U_{n,\tau,2}}{\delta \Delta U_{\delta,\tau,2}}; \dots \quad (3.36)$$

Имея расчетные и экспериментальные значения $\Delta \Psi$ (формулы (3.34) и (3.36)) для всех точек профиля, в одной координатной системе и в едином масштабе строятся экспериментальная и расчетная кривые. При наличии однородной среды кривые должны совпадать. Отклонение экспериментальной кривой от теоретической связано с неоднородностью среды.

4. На рудниках часто имеется сложная сеть транспортных горных выработок, которые большей частью не являются прямыми. Это обстоятельство делает невозможным учет изменения расстояния между транспортной и разведочной выработками от точки к точке и исключает возможность применения вышеперечисленных методик работ.

Как видно из неравенств (3.25) и (3.26), допустимый предел угла отклонения α горных выработок обратно пропорционален максимальному расстоянию между базисным и полевым пунктами. Фактически в рассматриваемом случае угол α велик и для соблюдения условий формул (3.25) и (3.26) необходимо, чтобы L_{\max} был бы небольшим.

Исходя из этого, для проведения наблюдений блуждающих токов от сложных источников предлагается градиентная схема наблюдения $M_{\delta} N_{\delta} M_n N_n$. В этом случае базисная и полевая установки располагаются друг рядом с другом таким образом, чтобы электроды N_{δ} и M_n находились на одном пикете. При работе градиентной схемой вместе с полевой установкой передвигается и базисная.

Полученная аномалия градиентного варианта метода БТ, вызванная хорошо проводящим рудным объектом, характеризуется четырьмя экстремальными значениями $\Delta \Psi'$ ($\Delta \Psi'_{\max}$, $1/\Delta \Psi'_{\max}$, $\Delta \Psi'_{\min}$, $1/\Delta \Psi'_{\min}$) (рис. 3.12).

а) При нахождении обеих установок в однородной среде значение $\Delta \Psi'$ колеблется вблизи единицы. По мере приближения к хорошо проводящему участку значение $\Delta \Psi'$ увеличивается и достигает своей максимальной величины при нахождении электрода N_n на аномальном участке.

б) Когда полевая установка и один электрод базисной установки располагаются в аномальной зоне, а второй электрод базисной установки — в пределе окружающих пород, значение $\Delta \Psi'$ принимает обратную величину своего максимального значения — $1/\Delta \Psi'_{\max}$.

в) Когда электрод N_n переходит в окружающую среду, величина $\Delta \Psi'$ принимает свое минимальное значение. Последнее по абсолютной величине соизмеримо с максимальным значением $\Delta \Psi'$ и имеет обратный знак.

г) При расположении электродов N_{δ} , M_n и N_n вне аномального участка, а электрода M_{δ} непосредственно на аномальном участке величина $\Delta \Psi'$ принимает значение, обратное $\Delta \Psi'_{\min} - 1/\Delta \Psi'_{\min}$.

Из рассмотренных пределов вариации $\Delta\Psi'$ очевидно, что линейный масштаб, при котором экстремумы $1/\Delta\Psi'_{\text{макс}}$ и $1/\Delta\Psi'_{\text{мин}}$ отмечаются незначительными отклонениями кривой по сравнению с отклонениями $\Delta\Psi'_{\text{макс}}$ и $\Delta\Psi'_{\text{мин}}$, неудобен. Исходя из этого, для наглядного представления кривой $\Delta\Psi'$, наблюдаемой градиентной схемой, предлагается сложный масштаб: в пределах $\Delta\Psi' = 1 \div \infty$ и $-\infty \div -1$ принимается линейный масштаб, а в интервале $\Delta\Psi' = 1 \div -1$ — гиперболический (рис. 3.12).

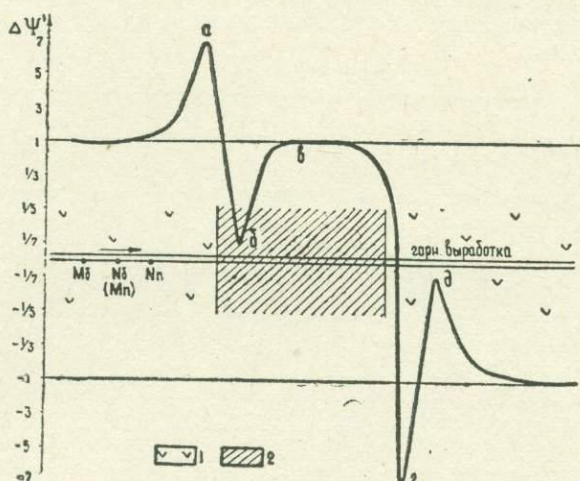


Рис. 3.12. Кривая отношений приращений разностей потенциалов для четырехэлектродной градиентной установки. 1—высокоомная среда; 2—хорошо проводящая рудная зона.

Обработка осциллографических записей проводится по общепринятой методике.

Предлагается формула для приведения кривой $\Delta\Psi'$ к одному базисному пункту, расположенному в однородной среде:

$$\Delta\Psi'_i = \Delta\Psi'_1 \cdot \Delta\Psi'_{i-1}.$$

5. Регистрация приращений разностей потенциалов при работе четырехэлектродными установками, как и приращение потенциалов при работе трехэлектродными установками, производится с помощью осциллографической записи с предварительным усилением. Нами применялась электроразведочная станция ВП-59 без пульта управления. Один из каналов (ВП) усилителя при работе четырехэлектродной установкой соединяется с базисной установкой $M_b N_b$, а другой канал (ПР) — с полевой установкой $M_n N_n$. Для питания осциллографа используется аккумулятор типа 10НКН-20. В приемной линии применяются медно-купоросные неполяризующиеся электроды. Последние с помощью проводов марки ГПСМП соединяются со входами соответствующих каналов «ВП» и «ПР» усилителя станции ВП-59.

Основными недостатками применяемой электроразведочной станции ВП-59 при работе методом БТ являются: недостаточная ширина фотоленты осциллографа (10 см), неидентичность каналов «ВП» и «ПР» (чувствительность канала «ВП» в 3,3 раза больше чувствительности канала «ПР») и большая трудоемкость обработки фотозаписей.

Учитывая характер изменения блуждающих токов, условия их наблюдения и вышеуказанные недостатки используемой аппаратуры и обработки полевых материалов, для регистрации блуждающих токов представляется целесообразным создание аппаратуры с цифровым выходом, позволяющей прямое определение отношения приращений потенциалов. Схема такого прибора, разработанного в Институте геофизики и инженерной сейсмологии (ИГИС) АН Арм. ССР, представлена на рис. 3.13. Этот прибор представляет собой аналоговый делитель двух напряжений. Принцип действия прибора заключается в запоминании сигналов с дальнейшим их измерением как квазистационарных величин по методу выравнивания выходных сигналов путем изменения коэффициентов усиления.

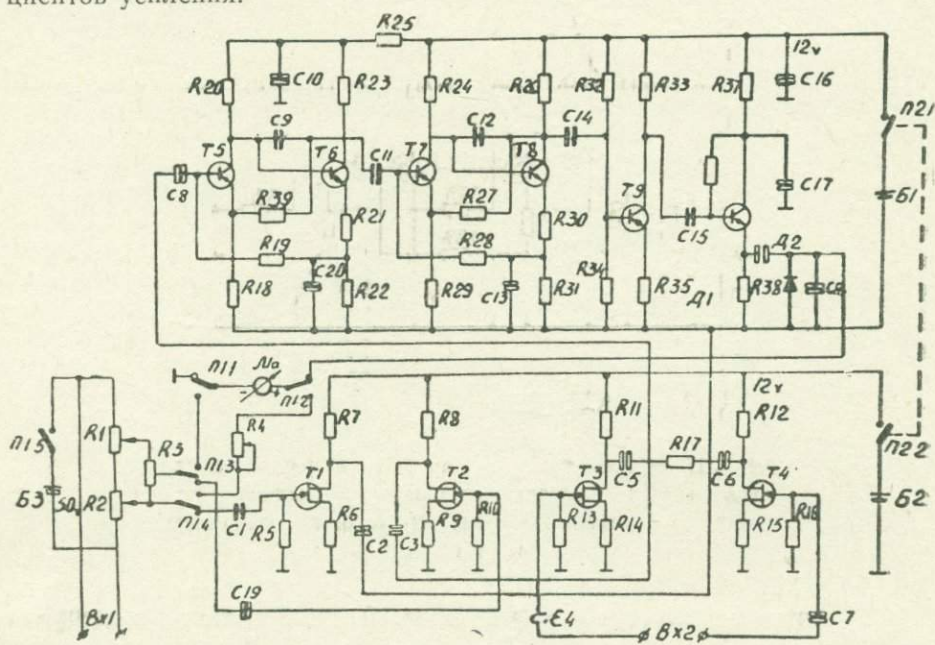


Рис. 3.13. Схема аппаратуры для регистрации блуждающих токов.

Прибор содержит два входных усилителя, запоминающие устройства, потенциометрический делитель напряжений, мультивибратор, выходной усилитель и схему нуль-индикатора.

Измеряемые сигналы поступают на входные усилители, диапазон коэффициента усиления одного из которых равен ожидаемому отношению величин измеряемых напряжений. С выхода усилителей сигналы вычитаются, усиливаются и подаются на нуль-индикатор.

Первоначально в обоих каналах устанавливаются одинаковые коэффициенты усиления. Изменяя коэффициент усиления полевого канала, по нуль пункту добиваются равенства напряжений на выходах предварительных усилителей. Величина изменения коэффициента усиления в полевом канале после балансировки будет равна отношению амплитуд измеряемых напряжений.

ГЛАВА 4

СВЕРХДЛИННОВОЛНОВЫЙ ВАРИАНТ МЕТОДА РАДИОКИП

Известно, что в разведочной геофизике применяются в основном три метода, использующие высокочастотные электромагнитные поля: индукции, радиоволнового просвечивания и радиокип (метод радиоккомпанирования и пеленгации). В каждом из них исследуется изменение поля тех или иных излучателей в присутствии геологических неоднородностей, что и составляет основу решения обратной задачи.

В методах индукции и радиоволнового просвечивания изучаются электромагнитные поля, создаваемые собственными радиопередатчиками, а в методе радиокип — удаленными радиостанциями. Так в методе индукции используются наиболее низкие частоты (18,75—75 кгц), в методе радиоволнового просвечивания — более высокие частоты (0,25—20 Мгц), а в методе радиокип — диапазон широкоэмитательных радиостанций (150—450 кгц). В последнее время в методе радиокип стал опробоваться сверхдлинноволновый диапазон частот 10—30 кгц.

Сущность метода радиокип заключается в том, что изучается электромагнитная волна, распространяющаяся вдоль земной поверхности, под действием которой в хорошо проводящем включении возникают индукционные электрические токи, создающие добавочное переменное поле той же частоты. Именно выделение и измерение этого добавочного поля составляет основу поисков рудных тел, прослеживания тектонических нарушений, выявления контактов разнородных пород и т. п. В наиболее распространенном варианте метод основан на изучении полей широкоэмитательных радиостанций, работающих в диапазоне частот 150—450 кгц, что позволяет в радиусе до 2000 км проводить геофизические исследования. Этот метод был предложен и разработан в послесловенный период профессором А. Г. Тарховым, который в своей монографии [130] дал теоретические основы, методику и технику разведки, а также привел результаты опробования метода на различных месторождениях СССР. Здесь же автор описывает применяемую аппаратуру и дает рекомендации, касающиеся дальнейшей разработки метода, развития теории и путей усовершенствования существующей аппаратуры.

В разработке и опробовании метода радиокип в последующие годы, наряду с А. Г. Тарховым принимали участие А. Д. Фролов [138, 141, 144], который использовал этот метод в целях геологического картирования различных районов Союза, О. М. Мясковский [83, 87], П. Ф. Родионов, В. К. Кокоуров [101] и др. Некоторые вопросы теории метода радиокип рассматривались в работах А. Н. Тихонова и Д. Н. Шахсуварова [135], С. М. Шейнмана [151], В. Н. Никитиной [85], Ю. К. Калинина [130] и др.

Метод радиокип в наземном варианте успешно опробовался на различных месторождениях и в разных районах (Северный Урал, Забайкалье, Армения, Закарпатье, Казахстан, Приамурье и др.). В процессе этих исследований решались следующие задачи: выявление геологичес-

ких неоднородностей под наносами мощностью порядка 10—20 м, прослеживание контактов разнородных пород, тектонических нарушений, рудных жил, выявление водоносных горизонтов при гидрогеологических исследованиях. Метод радиокип успешно применяется также и в аэроварианте.

Основным недостатком метода радиокип, использующего поля широкоэвекательных радиостанций (150—450 кгц), является сравнительно малая глубинность (первые десятки метров), в связи с чем ограничены его возможности при поисках и прослеживании глубоко залегающих объектов.

С целью увеличения глубинности исследований методом радиокип в начале шестидесятых годов была предпринята попытка использования сверхдлинных радиоволн (10—30 кгц). Впервые предложение о возможности использования полей сверхдлинноволновых радиостанций для геофизической разведки было высказано также А. Г. Тарховым [130].

Разработка методики и техники измерений сверхдлинноволновых полей для геофизических целей была выполнена сотрудниками ЦНИГРИ Б. В. Рогачевым и Э. С. Седельниковым под руководством профессора А. Г. Тархова. Впервые наземные работы методом СДВ-радиокип (сверхдлинноволновый вариант метода радиокип) были проведены на Северном Кавказе, а также в других районах Союза [49, 50, 98—101, 114, 115]. За рубежом метод СДВ-радиокип успешно применялся в Канаде в целях геологического картирования [116, 162, 169, 171, 177] и в Болгарии с целью прослеживания рудоносных зон на одном из месторождений [25].

Во всех опубликованных к настоящему времени работах по применению метода СДВ-радиокип указывается на его существенное преимущество перед обычным методом радиокип, которое заключается в значительно большей глубинности исследований, уменьшении влияния вариации поля и др.

Все отмеченные исследования проводились в основном с поверхности земли. Большая глубина проникновения сверхдлинных волн в толщу земной коры послужила основанием использования метода СДВ-радиокип при решении разведочных задач в шахтно-рудничных и скважинных условиях. Опробование метода СДВ-радиокип в подземных условиях проводилось Г. О. Газаряном, начиная с 1964 г. Первые же исследования установили перспективность измерения полей СДВ радиостанций в комплексе с другими геофизическими методами [34, 36, 40].

Теория распространения сверхдлинных радиоволн (СДВ) вдоль земной поверхности изложена в литературе [1, 57, 75, 97] и для нашего случая представляет интерес рассмотреть лишь нормальное поле СДВ под землей.

4.1. НОРМАЛЬНОЕ ПОЛЕ СДВ ПОД ЗЕМЛЕЙ

Для практического использования подземной разведки методом радиокип необходимо знать значение нормального поля СДВ вдоль подземной выработки и скважины и, кроме того, иметь представление о тех аномальных искажениях на кривых магнитной или электрической составляющих напряженности поля, которые обуславливаются проводящими рудными телами.

Известно, что условия распространения радиоволн вдоль земной поверхности весьма сложны. В связи с этим нормальные поля СДВ под землей и наблюдаемые аномальные электромагнитные поля ниже рассматриваются лишь в первом приближении.

Как известно, магнитное и электрическое поле плоской волны меняется по гармоническому закону:

$$F = F_m e^{i\omega t}, \quad (4.1)$$

где F — мгновенное, F_m — амплитудное значение напряженности электрического или магнитного поля волны. В тригонометрической форме формула (4.1) переписывается в виде:

$$F = F_m \cos \omega t. \quad (4.2)$$

При движении волны вглубь земли происходит ее поглощение, вследствие чего амплитуды электрического и магнитного полей убывают при удалении от границы раздела воздух — земля по закону:

$$F_{mh} = F_{m0} e^{-\delta h}, \quad (4.3)$$

где F_{mh} — амплитуда на глубине h ;
 F_{m0} — амплитуда на поверхности земли;
 δ — коэффициент поглощения проводящей среды.
 Таким образом, поле волны на глубине h будет:

$$F_h = F_{m0} e^{-\delta h} \cos \omega t, \quad (4.4)$$

т. е. до глубины h волна дойдет ослабленной в $e^{-\delta h}$ раз.

Как известно, при распространении вертикально поляризованной радиоволны вдоль земной поверхности всегда имеются меняющиеся в пространстве вертикальная E_{1z} и горизонтальная E_{1x} составляющие электрической части радиополя и соответственно UP_{1z} и UP_{1x} составляющие вектора Умова — Пойнтинга. Вектор магнитной составляющей поля H_{1y} остается горизонтальным, и, следовательно, над однородными в электрическом отношении породами будет присутствовать лишь горизонтальная составляющая магнитной части радиополя, которая направлена по нормали к направлению на радиостанцию. Вертикальная составляющая магнитной части поля H_{1z} должна отсутствовать.

Если в первом приближении рассмотреть лишь амплитуду волны, то нормальное поле в однородной проводящей среде с параметрами (ϵ , μ , σ) на некоторой глубине h будет выражаться соотношением (4.3).

При расчете нормального поля на глубине h вдоль горной выработки или оси скважины необходимо рассмотреть два основных случая: горизонтальная и наклонная плоскости раздела земля — воздух.

Горизонтальная плоскость раздела земля — воздух. Если плоскость раздела земля — воздух горизонтальная, то вектор магнитного поля H_{1y} на поверхности земли тоже горизонтален. Учитывая данное условие, в земле на глубине h будет наблюдаться лишь горизонтальная компонента H_{2y} (или H_n — нормальное поле), которая равна:

$$H_{2y} = H_{1y} e^{-\delta h} \quad (4.5)$$

или, если обозначить H_{1y} через H_{p0} , имеем:

$$H_n = H_{p0} e^{-\delta h}. \quad (4.6)$$

Следовательно, в каждой точке горизонтальной горной выработки нормальное магнитное поле выражается формулой (4.6), а сам вектор параллелен плоскости раздела земля — воздух.

В вертикальной скважине наблюдается нормальное магнитное поле H_n (4.6), вектор которого перпендикулярен к оси скважины, а сама величина напряженности поля вдоль оси скважины изменяется с глубиной по экспоненциальному закону.

Чтобы перейти к рассмотрению нормального поля вдоль оси наклонной скважины, примем условие, что направление на радиостанцию перпендикулярно к плоскости чертежа и для некоторого момента вре-

мени вектор электрического поля направлен вдоль оси z , а вектор магнитного поля ориентирован вдоль положительной полуоси y , т. е. волна удаляется от наблюдателя [57].

Если рассмотреть наклонную скважину, то здесь могут представиться два случая:

если скважина от вертикальной оси отклонена влево, то вектор горизонтального магнитного поля H_{2y} на некоторой глубине h в точке наблюдения M , расположенной на оси скважины, можно разложить на две составляющие: одна вдоль оси скважины H_{zc} , ориентированная вверх, а другая — H_{nc} , ориентированная нормально к оси скважины (рис. 4.1,а);

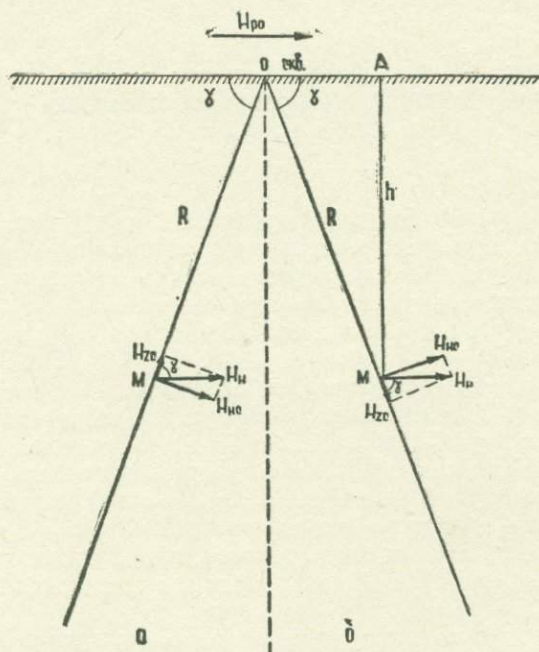


Рис. 4.1. К определению структуры нормального поля вдоль наклонной оси скважины.

если же скважина отклонена вправо, то в некоторой точке M (рис. 4.1,б) вектор H_{2y} также можно разложить на две составляющие H_{zc} и H_{nc} , причем вектор H_{nc} в этом случае ориентирован вниз.

Обозначим угол наклона оси скважины через γ . Тогда в обоих случаях наклона скважины значения векторов напряженностей нормального поля вдоль оси скважины и нормально к ней будут выражаться соответственно так:

$$H_{zc} = H_{2y} \cos \gamma, \quad (4.7)$$

$$H_{nc} = H_{2y} \sin \gamma. \quad (4.8)$$

Так как $H_{2y} = H_{p0} e^{-\delta h}$, то $\frac{H_{zc}}{H_{p0}} = e^{-\delta h} \cos \gamma;$ (4.9)

$$\frac{H_{nc}}{H_{p0}} = e^{-\delta h} \sin \gamma. \quad (4.10)$$

Выразив глубину h через R , соответствующее расстоянию точки M от устья скважины, получим:

$$\frac{H_{zc}}{H_{p0}} = e^{-\delta R \sin \gamma} \cos \gamma; \quad (4.11)$$

$$\frac{H_{nc}}{H_{p0}} = e^{-\delta R \sin \gamma} \sin \gamma. \quad (4.12)$$

На рис. 4.2 представлены теоретические кривые изменения нормального поля вдоль оси наклонной скважины при угле $\gamma = 70^\circ$ (сопротивление вмещающей среды $\rho = 10^4$ ом·м; длина волны в воздухе $\lambda_0 = 15$ км).

Наклонная плоскость раздела земля—воздух. Как известно, рельеф дневной поверхности, особенно при значительной электропроводности пород, оказывает влияние на распространение радиоволн.

Так в методе радиокип топографический эффект, накладываясь на поле подземных геологических неоднородностей, вызывает искажение наблюдаемых аномалий [51, 130], что ведет к понижению качества интерпретации полученных материалов.

Пусть изолинии рельефа параллельны направлению на станцию. Тогда вектор магнитного поля в воздухе у поверхности раздела земля—воздух (H_{p0}) будет следовать рельефу, а вектор электрического поля (E_{1z}) будет нормален к каждой точке земной поверхности. Если рассмотреть склон горы, скажем, при отрицательном угле наклона местности Ψ (рис. 4.3,а), то вектор H_{p0} на участке АБ горизонтален, поскольку горизонтален и сам участок. От точки Б до В следует спуск, и здесь уже вектор H_{p0} до точки перегиба на участке АБ начинает наклоняться и при большой длине склона устанавливается параллельно земной поверхности (склону). В связи с этим в некоторой точке Г, расположенной на наклонной плоскости (на склоне горы), появляются составляющие вектора H_{p0} : горизонтальная H_{y0} и вертикальная H_{z0} (ориентированная вниз), которые соответственно равны:

$$H_{y0} = H_{p0} \cos \Psi; \quad (4.13)$$

$$H_{z0} = H_{p0} \sin \Psi, \quad (4.14)$$

или

$$H_{p0} = \frac{H_{y0}}{\cos \Psi} = \frac{H_{z0}}{\sin \Psi}, \quad (4.15)$$

где Ψ —угол наклона местности.

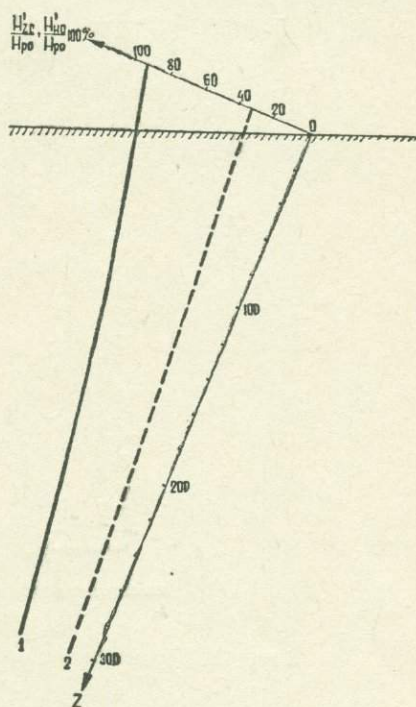


Рис. 4.2. Теоретические кривые нормальных полей $\frac{H_{zc}}{H_{p0}}$ и $\frac{H_{nc}}{H_{p0}}$ вдоль наклонной скважины ($\rho = 10^4$ ом·м, $\lambda_0 = 15$ км). 1—кривая H_{nc} ; 2—кривая H_{zc} .

При положительном угле наклона местности Ψ (рис. 4.3, б) вектор вертикальной составляющей магнитного поля H_{z0} направлен вертикально вверх, а составляющие H_{y0} и H_{z0} определяются также по формулам (4.13) и (4.14).

Рассмотрим теперь нормальное поле составляющих вектора H_{p0} вдоль горизонтальной горной выработки, заданной на склоне горы.

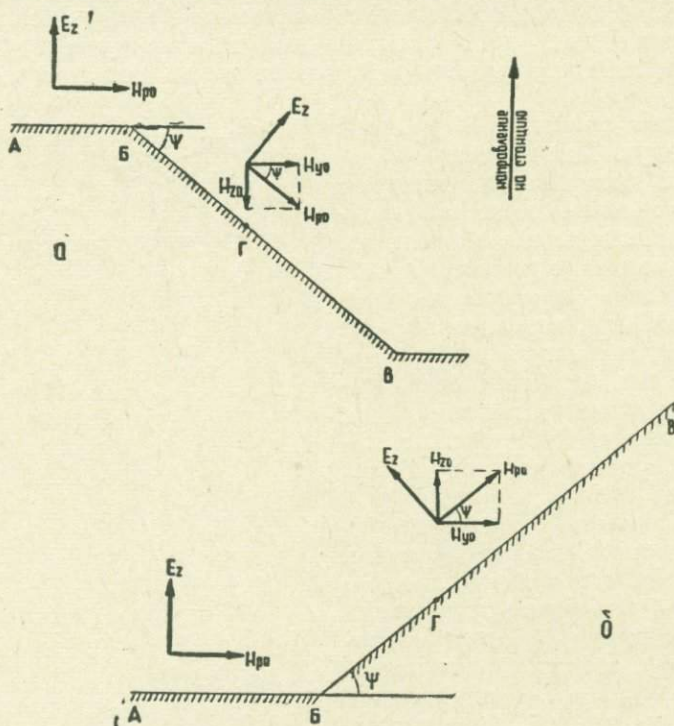


Рис. 4.3. Структура плоской волны вдоль наклонной дневной поверхности.

а—при отрицательном угле местности Ψ ; б—при положительном угле местности Ψ .

Пусть начало координатной системы находится у устья штольни, причем ось x направлена вдоль распространения радиоволны (изолинии рельефа параллельны направлению на станцию), а ось y —вдоль горной выработки. Ось z направлена вертикально вверх. Тогда при положительном угле местности Ψ и направлении вектора H_{p0} слева направо на склоне горы появляются горизонтальная H_{y0} и вертикальная H_{z0} составляющие напряженности поля (рис. 4.4).

Принимая во внимание, что радиоволна при большой длине склона доходит до точки А по нормали R к плоскости раздела земля—воздух, значение вертикальной составляющей H_{zh} в любой точке профиля наблюдения горизонтальной выработки или вдоль оси y выражается соотношением:

$$\frac{H_{zh}}{H_{p0}} = e^{-zh \cos \Psi} \sin \Psi \quad (4.16)$$

или, учитывая, что $h = y \operatorname{tg} \Psi$, формулу (4.16) перепишем в виде:

$$\frac{H_{zh}}{H_{p0}} = e^{-\Psi y \sin \Psi} \sin \Psi. \quad (4.17)$$

Согласно формуле (4.17), максимальное значение отношения $\frac{H_{zh}}{H_{p0}}$ будет наблюдаться в точке $y=0$. С увеличением расстояния от устья штольни вдоль горизонта выработки, или вернее вдоль оси y , происходит уменьшение значения нормального поля H_{zh} . Нормальное поле вертикальной составляющей H_{zh} вдоль оси y убывает по экспоненциальному закону при учете постоянства угла наклона местности по всему профилю наблюдения. Отсюда же следует, что при $\Psi = 0$ дневная поверхность местности может быть представлена горизонтальной плоскостью раздела земля—воздух и вертикальная составляющая нормального поля H_{zh} в земле отсутствует.

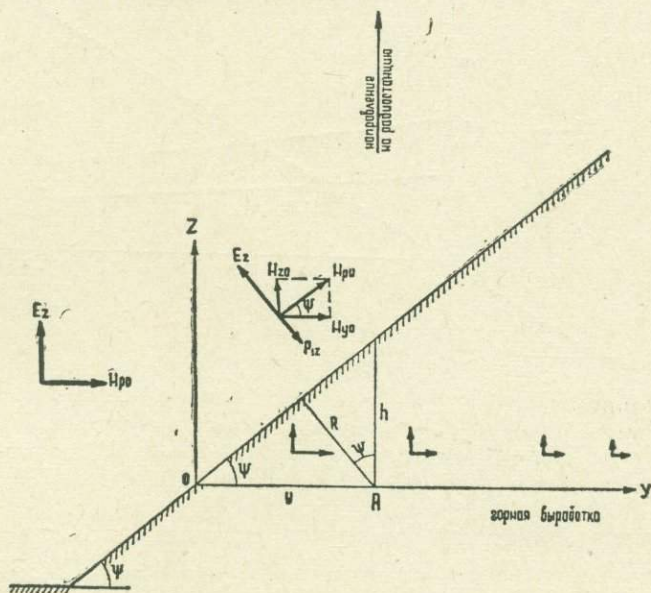


Рис. 4.4. Структура радиополя вдоль горизонта горной выработки, заданной на наклонной плоскости раздела земля—воздух.

Обратимся теперь к горизонтальной составляющей вектора — H_{p0} . На глубине h в некоторой точке A выработки горизонтальная составляющая H_{yh} равна:

$$\frac{H_{yh}}{H_{p0}} = e^{-\delta h \cos \Psi} \cos \Psi, \quad (4.18)$$

или, учитывая, что $h = y \operatorname{tg} \Psi$, получим:

$$\frac{H_n}{H_{p0}} = e^{-\delta y \sin \Psi} \cos \Psi. \quad (4.19)$$

При $y=0$ (т. е. у устья штольни) наблюдается максимальное значение отношения $\frac{H_n}{H_{p0}}$, которое так же, как и $\frac{H_{zh}}{H_{p0}}$, вдоль оси y (или горизонтальной выработки) при постоянстве угла наклона местности Ψ убывает по экспоненциальному закону. Следует отметить, что уровень поля H_n будет выше уровня H_{zh} при угле наклона местности до 45° . При угле наклона местности выше 45° уровень нормального поля вер-

тикальной составляющей становится выше уровня нормального поля горизонтальной составляющей.

На рис. 4.5 приведены теоретические кривые $\frac{H_{H}}{H_{p0}}$ и $\frac{H_{zh}}{H_{p0}}$, характеризующие изменение значений нормального поля вдоль оси при угле наклона местности $\Psi = 30^\circ$ (сопротивление среды $\rho = 10^4$ ом·м, а длина волны в воздухе $\lambda = 15$ км).

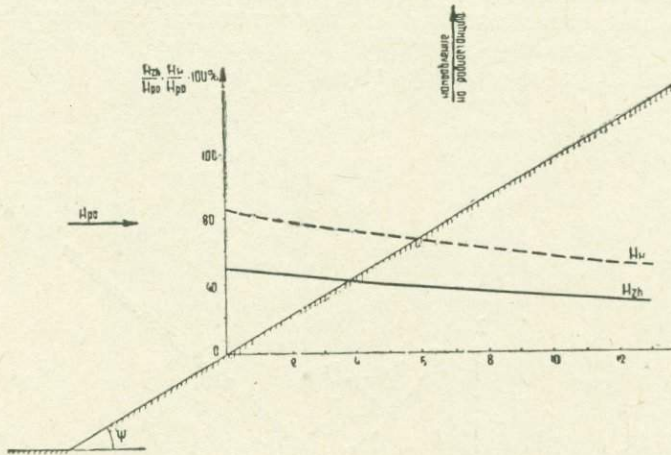


Рис. 4.5. Теоретические кривые нормальных полей вертикальной H_{zh} и горизонтальной H_H составляющих напряженности поля H_{p0} вдоль горизонтальной горной выработки, заданной на склоне горы. ($\rho = 10^4$ ом·м; $\lambda_0 = 15$ км; $\Psi = 30^\circ$).

При отрицательном угле наклона местности Ψ нормальные поля H_H и H_{zh} вычисляются по формулам (4.18) и (4.19).

Перейдем теперь к рассмотрению нормального магнитного поля вдоль оси скважины, заданной с наклонной плоскости раздела земля—воздух.

Пусть с поверхности земли, на склоне горы, задана вертикальная скважина. Как отмечалось выше, вектор нормального поля H_{p0} на наклонной плоскости может быть представлен в виде суммы двух составляющих H_{z0} и H_{y0} . Величина вертикальной H_{z0} и горизонтальной H_{y0} составляющих нормального поля зависит от угла наклона местности Ψ . Чем круче склон горы, т. е. чем больше угол Ψ , тем больше величина H_{z0} и меньше H_{y0} . При пологом склоне горы возрастает величина H_{y0} и убывает H_{z0} .

Изменение величины напряженности поля H_{z0} вдоль оси скважины с глубиной h будет:

$$H_{zh} = H_{z0}e^{-\delta R} \quad \text{или} \quad H_{zh} = H_{z0}e^{-\delta h \cos \Psi}, \quad (4.20)$$

где H_{z0} —значение вертикальной составляющей напряженности поля на поверхности земли, у устья скважины.

Подставив значение H_{z0} (4.14) в формулу (4.20), получим [39]:

$$H_{zh} = H_{p0}e^{-\delta h \cos \Psi} \sin \Psi; \quad (4.21)$$

$$\frac{H_{zh}}{H_{p0}} = e^{-\delta h \cos \Psi} \sin \Psi. \quad (4.22)$$

Таким образом, формула (4.22) характеризует изменение значения нормального поля вертикальной (осевой) составляющей напряженности поля H_{zh} вдоль оси скважины.

Горизонтальная составляющая H_h нормального поля вдоль оси скважины на глубине h может быть представлена в виде:

$$H_h = H_{y0} e^{-\delta R} \quad \text{или} \quad H_h = H_{y0} e^{-\delta h \cos \Psi}, \quad (4.23)$$

где H_{y0} — горизонтальная составляющая поля H_{p0} в воздухе у наклонной поверхности раздела земля — воздух.

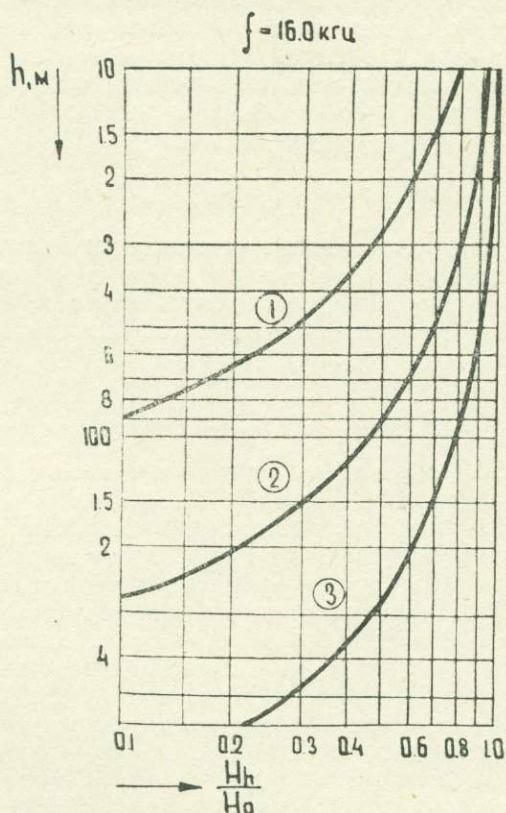


Рис. 4.6. Палетка.

Подставив значение H_{y0} в формулу (4.23), получим общее выражение изменения горизонтальной составляющей нормального поля с глубиной:

$$H_h = H_{p0} e^{-\delta h \cos \Psi} \cos \Psi \quad (4.24)$$

или

$$\frac{H_h}{H_{p0}} = e^{-\delta h \cos \Psi} \cos \Psi \quad (4.25)$$

Отсюда видно, что наибольшее значение нормального поля на глубине будет при $\Psi = 0$, т. е. когда дневная поверхность горизонтальная.

Аналогичное изменение нормальных полей H_{zh} и H_h вдоль вертикальной скважины будет и при положительном угле наклона местности Ψ . Только здесь вектор вертикальной составляющей H_{zh} нормального поля будет направлен вниз.

Если с наклонной плоскости раздела земля — воздух задана наклонная скважина, тогда могут быть рассмотрены следующие варианты:

- 1) плоскость раздела земля — воздух имеет отрицательный угол наклона местности Ψ ;
- 2) плоскость раздела земля — воздух имеет положительный угол наклона местности Ψ .

В каждом из этих вариантов могут представиться по два случая:

- 1) скважина отклонена влево от вертикальной оси;
- 2) скважина отклонена вправо от вертикальной оси.

Таким образом, можно отметить, что нормальные поля H_{nc} и H_{zc} в скважине, отклоненной влево от вертикальной оси, при отрицательном угле наклона местности идентичны с нормальными полями в скважине, отклоненной вправо от вертикальной оси, при положительном угле наклона местности. Эти поля соответственно равны:

$$H_{nc} = H_{p0} e^{-\delta h \sin[180^\circ - (\Psi + \gamma)]} \sin[180^\circ - (\Psi + \gamma)]; \quad (4.26)$$

$$H_{zc} = H_{p0} e^{-\delta h \sin[180^\circ - (\Psi + \gamma)]} \cos[180^\circ - (\Psi + \gamma)]. \quad (4.27)$$

Нормальные поля в скважине, отклоненной вправо от вертикальной оси, при отрицательном угле наклона местности идентичны с нормальными полями в скважине, отклоненной влево от вертикальной оси, при положительном угле наклона местности. Они соответственно равны:

$$H_{nc} = H_{p0} e^{-\delta h \sin(\gamma - \Psi)} \sin(\gamma - \Psi); \quad (4.28)$$

$$H_{zc} = H_{p0} e^{-\delta h \sin(\gamma - \Psi)} \cos(\gamma - \Psi). \quad (4.29)$$

Для того, чтобы определить нормальные поля для вышеприведенных вариантов расположения горных выработок и скважин, а также при различном угле наклона местности, с помощью соответствующих номограмм или палеток необходимо произвести громоздкие численные расчеты. При построении различных теоретических графиков их придется объединить в отдельные серии по принципу постоянства того или иного параметра. Поэтому более целесообразно для каждого конкретного случая рассчитать нормальное поле, как это принято, например, в методе радиоволнового просвечивания.

Здесь же в качестве примера мы приводим расчеты и соответствующие графики нормальных полей для случая горизонтальной плоскости раздела земля — воздух.

Обратимся к формуле [75], выражающей зависимость напряженности поля на глубине h и на поверхности земли:

$$H_{2y} = H_{1y} e^{-2\pi \sqrt{\frac{30}{\lambda_0} \sigma(1-i)h}}. \quad (4.30)$$

Так как H_{2y} — амплитуда напряженности нормального поля на глубине h , т. е. $H_{2y} = H_n$, а H_{1y} — то же самое, что и H_{p0} , то формулу (4.30) перепишем в виде:

$$H_n = H_{p0} e^{-2\pi \sqrt{\frac{30}{\lambda_0} \sigma(1-i)h}}. \quad (4.31)$$

Иначе ее можно записать и так:

$$H_n = H_{p0} e^{-2\pi \sqrt{\frac{30}{\lambda_0} \sigma} h} e^{2\pi i \sqrt{\frac{30}{\lambda_0} \sigma} h}. \quad (4.32)$$

В последнем выражении величина

$$H_n = H_{p0} e^{-2\pi \sqrt{\frac{30}{\lambda_0} \sigma} h} \quad (4.33)$$

является амплитудой напряженности поля. Заменяв электропроводность через ее сопротивление, получим:

$$H_n = H_{p0} e^{-2\pi \sqrt{\frac{30}{\lambda_0 \rho}} h} \quad (4.34)$$

По этой формуле (4.34) нами был проведен расчет отношений напряженностей полей $\frac{H_n}{H_{p0}}$ для коренных пород: относительно низкоом-

ных ($\rho = 10^2$ ом·м), среднего сопротивления ($\rho = 10^3$ ом·м) и высокоомных ($\rho = 10^4$ ом·м). Основные расчеты в диапазоне частот 10—30 кгц были проведены через 0,5 кгц. Расхождение между кривыми отно-

шений $\frac{H_n}{H_{p0}}$ для последующих час-

тот, отличающихся на 0,5 кгц, небольшое, а поэтому и было целесообразно построить палетки именно через эти интервалы частот, что не сказывается на окончательных результатах интерпретации. На рис. 4.6 представлена одна из таких палеток. На каждой палетке, отвечающей определенной частоте, приводятся три кривые (1, 2 и 3), соответствующие сопротивлениям горных пород 10^2 , 10^3 и 10^4 ом·м.

При исследованиях в подземных горных выработках или скважинах (плоскость раздела земля—воздух—горизонтальная), если знать значение напряженности поля на поверхности земли, по приведенным палеткам с учетом длины радиоволны λ_0 в воздухе и сопротивления среды ρ можно определить нормальное значение горизонтальной составляющей H_n на глубине h . Это дает возможность установить эффективность метода СДВ-радиокип на участке с заданными геолого-физическими условиями.

Вышеприведенные формулы для вычисления нормального поля в подземных горных выработках при горизонтальной и наклонной плоскостях раздела земля—воздух были выведены в предположении, что направление выработки перпендикулярно к направлению на передающую радиостанцию. В этом случае нормальное поле в подземной выработке представлено лишь горизонтальной составляющей H_n , вектор которой направлен вдоль выработки.

Если же направление выработки составляет некоторый угол с направлением на радиостанцию, то тогда в каждой точке выработки вектор H_{2y} можно разложить на две составляющие: H_{nx} —перпендикулярно к направлению выработки и H_{ny} —вдоль выработки.

Пусть азимут выработки будет A_1 , а азимут радиостанции— A (рис. 4.7). В таком случае азимут вектора H_{p0} равен $90^\circ + A$. Амплитуда вектора нормального поля H_n на глубине h равна:

$$H_n = H_{p0} e^{-\delta h}$$

Тогда нормальное поле H_{ny} вдоль выработки, расположенной на глубине h , будет:

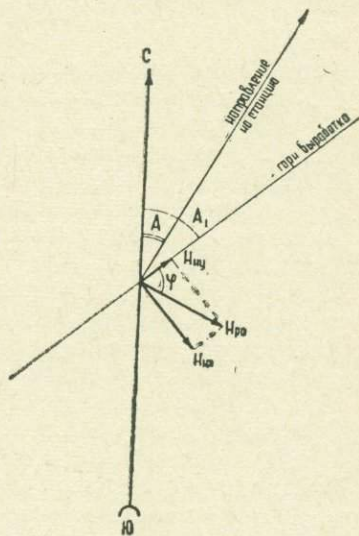


Рис. 4.7. К определению нормального поля в подземной горной выработке.

$$H_{ny} = H_n \cdot \cos\varphi. \quad (4.35)$$

Учитывая значение угла $\varphi = (90^\circ + A) - A_1$ и $H_n = H_{p0} e^{-\delta h}$, формулу (4.35) перепишем в виде:

$$H_{ny} = H_{p0} e^{-\delta h} \cos[90^\circ + (A - A_1)]. \quad (4.36)$$

Напряженность поля H_{nx} , вектор которой перпендикулярен к направлению выработки, будет:

$$H_{nx} = H_{p0} e^{-\delta h} \sin [90^\circ + (A - A_1)]. \quad (4.37)$$

4.2. АНОМАЛЬНОЕ ПОЛЕ

Результаты наблюдений методом СДВ-радиокип в каждой точке подземной выработки в общем случае зависят от следующих факторов:

- а) инструментальных погрешностей, обусловленных несовершенством схемы и конструкции прибора;
- б) влияния объектов, близко расположенных к приемнику,—провода, различные металлические трубы и сооружения и др.;
- в) изменений нормального поля, вызванных геологическими неоднородностями.

Инструментальные погрешности обычно невелики и их всегда можно учесть. Влияние предметов, близко расположенных к приемнику, будет рассмотрено далее в подразделе 4.4. Здесь же разберем искажение нормального поля, обусловленное геологическими причинами.

Общая схема физических процессов, обуславливающих появление той или иной электромагнитной аномалии в подземных условиях, может быть представлена в таком виде.

Наличие в среде пород с различными электромагнитными свойствами (ρ , ϵ , μ) искажает нормальное поле: вектор H отклоняется от горизонтали, горизонтальная составляющая изменяется от точки к точке как по величине, так и по направлению. Важно заметить, что если в нормальном поле вертикальная компонента электрического поля мала, то при наличии аномалии она возрастает. И если в процессе подземных наблюдений методом радиокип измерить именно ее, то в этом случае фиксируется реакция подземного объекта на фоне пониженного значения первичного поля. Измерение вертикальной составляющей дает так называемый эффект «чистой аномалии» [130].

Как было отмечено, искажение нормального поля радиостанции обуславливается наложением полей индукционных токов, наведенных в геологических неоднородностях, на первичное поле радиостанции и зависит качественно и количественно от разновидностей: рудная жила, контакт разнородных пород и т. п. По выявленным аномалиям решается обратная задача геофизики—определяются элементы залегания объектов, создающих эти аномалии.

Аномальное магнитное поле H_a можно представить суммой полей: синфазного и квадратурного (т. е. со сдвигом фаз на $\frac{\pi}{2}$ с первичным полем).

В свою очередь, вектор вторичного поля также можно разложить на два: совпадающий по направлению с первичным полем,—радиальная составляющая, и нормальный к нему,—тангенциальная составляющая.

Как показано А. Г. Тарховым [130], подземные геологические проводники создают вторичное поле, преимущественно синфазное с первичным. Квадратурное поле, если представить подземную геологическую неоднородность в виде замкнутого электрического контура, возник-

кает лишь в случае совпадения собственной частоты этого контура с частотой поля. Однако такое совпадение может быть лишь случайным.

Поэтому при наших расчетах в качестве первого приближения рассмотрен простейший случай — отсутствие фазового сдвига, т. е. случай синфазного поля.

Как известно, решение прямых и обратных задач в методе радиокип достигается двумя путями: расчетом (приближенным и строгим) и моделированием.

ПРИБЛИЖЕННЫЕ РАСЧЕТЫ ЗАДАЧ ПОДЗЕМНОГО ВАРИАНТА МЕТОДА СДВ-РАДИОКИП

Амплитудные аномалии от протяженного локального подземного проводника. При наблюдениях методом СДВ-радиокип в горизонтальных выработках (или горизонтальных скважинах подземного бурения) могут представиться два основных варианта:

горная выработка проходит над рудным телом;

горная выработка проходит под рудным телом.

Рассмотрим случай идеально проводящей жилы, имеющей форму пласта, простираение которой направлено вкост направлению выработки. Направим ось x по простираению жилы, а ось y — вдоль выработки. Пусть горизонтальная плоскость $z=0$ находится в земле на глубине h , а глубина залегания проводящей жилы (или эквивалентного ей линейного тока) — на глубине h_1 (рис. 4.8), т. е. $h_1 > h$. Пусть далее на глубине h в некоторый момент времени вектор первичного (или нормального) поля направлен вдоль оси y слева направо. Тогда горизонтальная составляющая H_{2yh} (H_a) вектора напряженности вторичного поля вдоль оси в тот же момент времени будет направлена также слева направо.

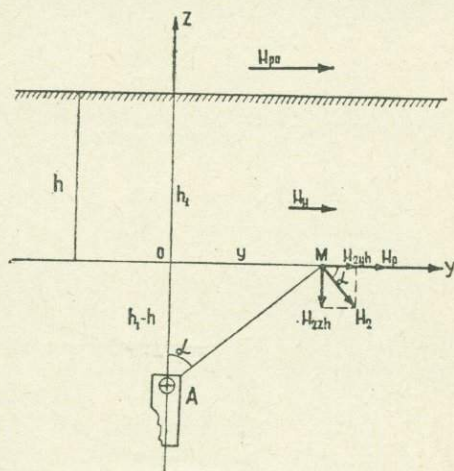


Рис. 4.8. К расчету аномального поля подземного проводника, расположенного ниже профиля наблюдения.

Если в однородной проводящей среде при горизонтальной плоскости раздела земля — воздух на некоторой глубине вертикальная компонента зависит только от вторичного (аномального) поля, то горизонтальная компонента является суммой первичного H_n и вторичного H_a полей.

В этом случае, если пренебречь сдвигом фаз, горизонтальную составляющую магнитного поля можно представить в виде:

$$H_p = H_n + H_a. \quad (4.38)$$

Значение амплитуды напряженности горизонтальной составляющей нормального поля на глубине h будет:

$$H_n = H_{p0} e^{-\delta h} \quad (4.39)$$

Аномальное поле H_a равно:

$$H_a = H_p - H_n = \frac{0.2I_2(h_1 - h)}{(h_1 - h)^2 + y^2}. \quad (4.40)$$

Если же рудный объект расположен выше горизонтальной выработки $h_1 < h$, то при тех же условиях горизонтальная составляющая магнитного поля может быть представлена в виде разности первичного и вторичного полей (рис. 4.10):

$$H_p = H_n - H_a,$$

и в этом случае под рудным объектом, в точке $y=0$, будет наблюдаться минимальное значение напряженности поля.

Максимальное значение вторичного поля вертикальной составляющей, как и в первом случае, будет в точках $y = \pm(h-h_1)$, и кривая идентична с кривой, полученной при наблюдениях над рудным объектом. Следовательно, по наблюдаемым кривым вертикальной компоненты вторичного поля невозможно установить местоположение возмущающего объекта. Только горизонтальная компонента магнитного поля позволяет решить эту задачу. Если аномалия наблюдаемой кривой H_p имеет минимальное значение, то верхняя кромка рудного объекта находится над выработкой, при максимальном значении H_p — под выработкой.

Также известно, что по кривой обращения углов тоже возможно установить местоположение рудного тела.

Если измерение напряженности поля проводить в вертикальной скважине при горизонтальной плоскости раздела земля — воздух и если учесть условие распространения радиоволн, принятое в подразделе 4.1, то здесь могут быть два случая расположения рудного объекта от оси вертикальной скважины: справа или слева.

Если рудный объект расположен справа от оси скважины на глубине h_1 (рис. 4.11), то горизонтальная составляющая для точки M , расположенной выше кромки рудного объекта, будет:

$$H_p = H_n + H_{2yh};$$

$$H_p = H_{p0} e^{-\delta h} + \frac{0.2I_2(h_1 - h)}{(h_1 - h)^2 + P^2}, \quad (4.46)$$

а для точки M_1 , расположенной ниже кромки рудного объекта:

$$H_p = H_n - H_{2yh};$$

$$H_p = H_{p0} e^{-\delta h} - \frac{0.2I_2(h - h_1)}{(h - h_1)^2 + P^2}, \quad (4.47)$$

где h — глубина нахождения точки M на оси скважины;

H_n — нормальное поле;

H_{2yh} — горизонтальная составляющая вторичного поля.

В этом случае полное электромагнитное поле выше точки O будет иметь значение больше нормального, а ниже точки O — меньше нормального.

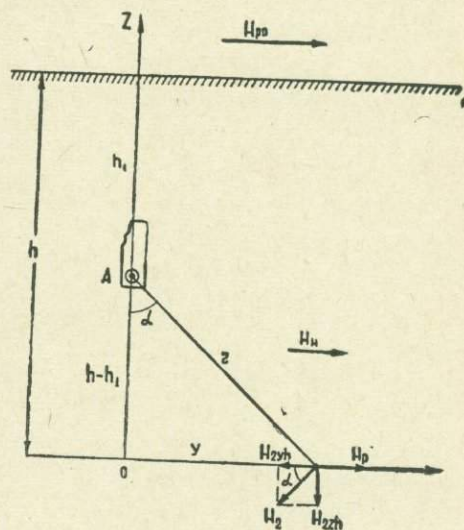


Рис. 4.10. К расчету поля подземного проводника, расположенного выше профиля наблюдения.

Если же рудный объект расположен слева от оси вертикальной скважины, то как это следует из ориентации векторов нормального и вторичного полей, полное электромагнитное поле выражается аналогично формулам (4.46) и (4.47).

Следовательно, кривые напряженности электромагнитного поля при расположении объекта слева или справа от оси скважины будут идентичны и по ним нельзя судить о пространственном положении возмущающего объекта.

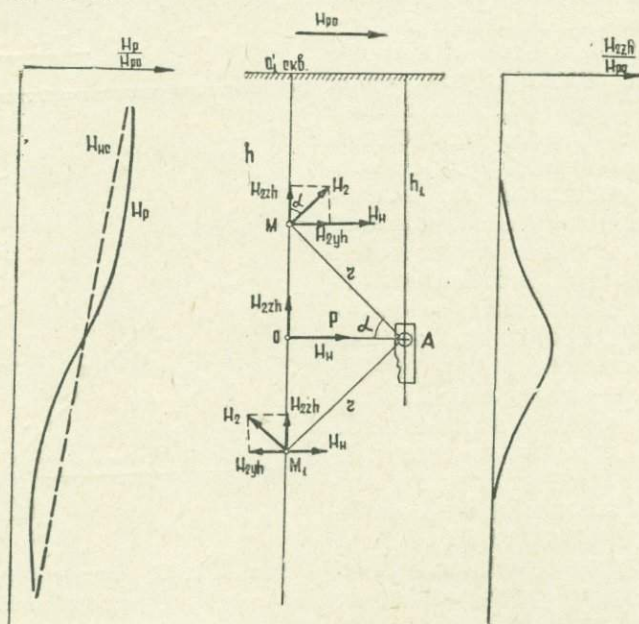


Рис. 4.11. К расчету аномального поля подземного проводника, расположенного справа от оси вертикальной скважины.

Обратимся теперь к вертикальной компоненте вторичного поля H_{2zh} .

В точке M (рис. 4.11) вследствие действия вторичного поля вдоль оси скважины наблюдается аномалия вертикальной составляющей H_{2zh} , которая независимо от расположения приемной антенны в точке M или M_1 имеет одно и то же направление вектора.

Амплитудное значение вертикальной составляющей вторичного поля будет:

$$H_{2zh} = \frac{0.2I_2P}{(h_1 - h)^2 + P^2} \quad \text{при } h < h_1; \quad (4.48)$$

$$H_{2zh} = \frac{0.2I_2P}{(h - h_1)^2 + P^2} \quad \text{при } h > h_1. \quad (4.49)$$

Если взять производную от H_{2zh} по $(h - h_1)$ или $(h_1 - h)$ и приравнять нулю, то определим экстремальное значение кривой H_{2zh} , которое будет при $h = h_1$, т. е. в точке O (рис. 4.11). Независимо от положения объекта относительно оси скважины кривая H_{2zh} в обоих случаях имеет максимальное значение в точке O . Таким образом, по кривой H_{2zh} при измерении радиополя в вертикальной скважине невозможно установить местоположение возмущающего объекта.

Остановимся теперь на рассмотрении вопроса возможности про-

Напряженность поля вдоль оси скважины будет:

$$H_{2zc} = H_2 \cos \alpha \text{ или } H_{2zc} = \frac{0.2I_2 P}{(R_1 - R)^2 + P^2}, \quad (4.50)$$

где

$$R_1 = P \cdot \operatorname{tg} \gamma + \left(h_1 - \frac{P}{\cos \gamma} \right) \frac{1}{\sin \gamma}.$$

Ввиду того, что в рассматриваемом случае векторы H_{zc} и H_{2zc} направлены в одну и ту же сторону, полный вектор H_z вдоль оси скважины будет представлять сумму этих векторов:

$$H_z = H_{zc} + H_{2zc} \quad (4.51)$$

или

$$H_z = H_{p0} e^{-\delta R \sin \gamma} \cos \gamma + \frac{0.2I_2 P}{(R_1 - R)^2 + P^2}.$$

В точке M_1 для выражения H_z мы получим формулу, аналогичную формуле (4.51), только здесь необходимо учесть, что $R > R_1$:

$$H_z = H_{p0} e^{-\delta R \sin \gamma} \cos \gamma + \frac{0.2I_2 P}{(R - R_1)^2 + P^2}. \quad (4.52)$$

Если взять производные от аномальной части выражения H_z по $(R_1 - R)$ и $(R - R_1)$ в формулах (4.51) и (4.52), то экстремальное значение будет при $R = R_1$:

$$[H_{2zc}]_{\max} = \frac{0.2I_2}{P}.$$

В таком случае результирующее поле H_z вдоль оси скважины имеет максимальное значение в точке O (рис. 4.12).

2. Если рудный объект находится справа от оси скважины, тогда в силу противоположной ориентации векторов нормального H_{zc} и аномального H_{2zc} полей результирующее поле H_z равно:

$$H_z = H_{zc} - H_{2zc}.$$

Экстремальное значение аномальной части поля $H_{zc} - H_{2zc}$, как и в предыдущем случае, наблюдается при $R = R_1$. Так как в каждой точке оси скважины осевая компонента равна разности нормального H_{zc} и вторичного H_{2zc} полей, то в районе расположения верхней кромки рудного тела будет наблюдаться минимальное значение кривой H_z .

Рассмотрим теперь случай, когда скважина отклонена влево от вертикали.

1. При тех же обозначениях в случае расположения рудного объекта справа от оси скважины (рис. 4.13) напряженность поля H_z определится равенством:

$$H_z = H_{zc} + H_{2zc}$$

и максимальное значение H_z наблюдается в точке O .

2. Если же рудный объект находится слева от оси скважины, то

$$H_z = H_{zc} - H_{2zc}$$

и в точке O наблюдается минимальное значение H_z .

Кривая горизонтальной компоненты H_{nc} , как и при наблюдениях в

вертикальной скважине, имеет идентичную форму, и по ней нельзя судить о пространственном положении рудного объекта.

Следовательно, измерение магнитной составляющей электромагнитного поля вдоль оси наклонной скважины позволяет установить пространственное положение рудного объекта. В связи с этим можно сказать следующее:

а) аномалия магнитного поля H_z будет положительной, если скважина отклонена вправо от вертикали и рудное тело лежит справа от оси скважины, а также если скважина отклонена влево, а рудное тело находится справа от нее. Отрицательная аномалия H_z получится, если скважина отклонена от вертикальной оси в сторону рудного тела;

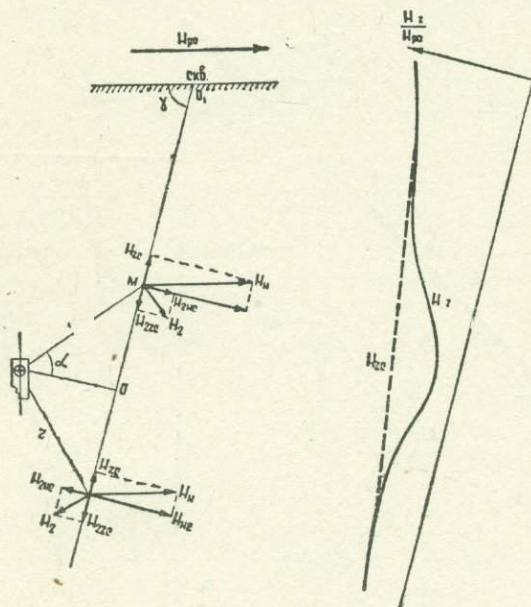


Рис. 4.13. К расчету поля подземного проводника, расположенного слева от оси наклонной скважины.

б) в случае вертикальной скважины знак аномалии, а следовательно, и точное положение рудного тела определить нельзя;

в) если скважина наклонена, то для уточнения пространственного положения рудного тела и расстояния до него от оси скважины необходимо произвести измерения двух других компонент поля — горизонтальных составляющих вторичного и первичного полей. Тогда, если из кривой вычтеть нормальное поле, то можно судить о расстоянии до верхней кромки тела.

Рассмотрим аномальные поля от подземных проводников, расположенных в окрестностях подземных выработок и скважин, в случае наклонной плоскости раздела земля — воздух.

Подземная выработка. В этом случае кривые горизонтальной и вертикальной составляющих магнитного поля над рудным объектом и под ним будут идентичны с кривыми, наблюдаемыми при горизонтальной плоскости раздела земля—воздух. Однако здесь необходимо учесть, что при наклонной плоскости раздела земля—воздух в подземной выработке наблюдается нормальное значение вертикальной составляющей магнитного поля.

Скважины. Если задана вертикальная скважина, то могут представиться следующие варианты.

Вариант 1. Угол наклона местности положителен. Рудное тело расположено слева от оси скважины.

Обозначим через R_1 расстояние вдоль скважины от точки O_1 устья скважины до точки O , которая отстоит от верхней кромки рудного тела на расстоянии P . Можно показать, что $R_1 = h_1 + P \operatorname{tg} \Psi$, где h_1 — расстояние от поверхности земли в точке A_1 до залегания рудного объекта в точке A (рис. 4.14).

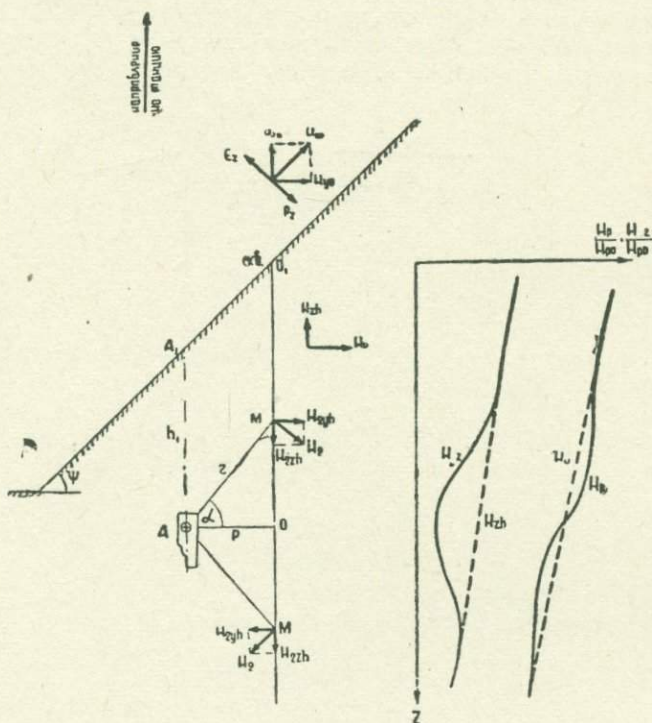


Рис. 4.14. К расчету аномального поля от подземного проводника, расположенного слева от вертикальной оси скважины при положительном угле наклона местности φ .

В этом случае горизонтальная составляющая H_p будет:

$$H_p = H_{p0} e^{-\delta h \cos \Psi} \cos \Psi + \frac{0.2 I_2 (R_1 - h)}{(R_1 - h)^2 + P^2} \quad \left| \quad R_1 > h; \right. \quad (4.53)$$

$$H_p = H_{p0} e^{-\delta h \cos \Psi} \cos \Psi - \frac{0.2 I_2 (R_1 - h)}{(R_1 - h)^2 + P^2} \quad \left| \quad R_1 < h. \right. \quad (4.54)$$

Так как нормальное поле H_n вдоль оси скважины с глубиной изменяется по экспоненциальному закону, то кривая H_p будет иметь такой же вид (рис. 4.14), как и в случае наклонной скважины при горизонтальной плоскости раздела земля — воздух.

Так как вектор нормального поля H_{zh} при условии, что в некоторый момент времени вектор H_{p0} направлен слева направо, ориентирован вверх, а вектор вертикальной составляющей вторичного поля H_{2zh} — вниз, то результирующий вектор H_z будет равен:

$$H_z = H_{zh} - H_{2zh}$$

или

$$H_z = H_{p0} e^{-\delta h \cos \Psi} \sin \Psi - \frac{0.2 I_2 P}{(R_1 - h)^2 + P^2} \quad \left| R_1 > h; \right. \quad (4.55)$$

$$H_z = H_{p0} e^{-\delta \cos \Psi} \sin \Psi - \frac{0.2 I_2 P}{(h - R_1)^2 + P^2} \quad \left| R_1 < h. \right. \quad (4.56)$$

Если исследовать формулы (4.55) и (4.56), то можно установить, что в точке O наблюдается минимальное значение H_z (рис. 4.14), что аналогично случаю наклонной скважины и горизонтальной плоскости раздела земля — воздух.

Вариант 2. Можно показать, что при отрицательном угле наклона местности Ψ и при расположении рудного объекта слева от оси скважины кривая H_p идентична с кривой H_p для случая положительного угла наклона местности Ψ . Кривая же H_z в районе расположения верхней кромки рудного тела будет иметь максимальное значение и ее вид идентичен с видом кривой, наблюдаемой при наклонной скважине и горизонтальной плоскости раздела земля — воздух.

Варианты 3—4. Если рудный объект расположен справа от оси скважины, то при положительном угле наклона местности в точке O вертикальная компонента будет иметь максимальное значение, а при отрицательном угле — минимальное.

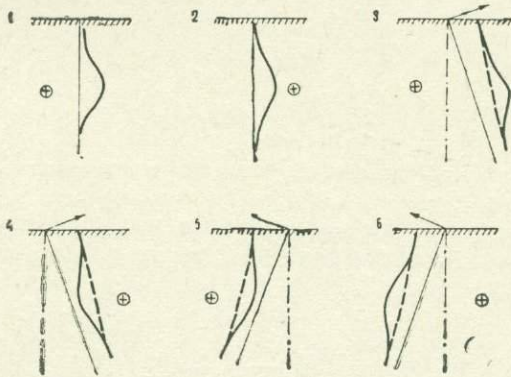


Рис. 4.15. Аномалии вертикальной составляющей H_z от подземного проводника, расположенного справа или слева от оси вертикальной и наклонной скважин, заданных с горизонтальной плоскости раздела земля — воздух.

Аномалии вертикальной составляющей H_z от подземного проводника, расположенного справа или слева от вертикальной и наклонной скважин, заданных с горизонтальной плоскости раздела земля — воздух, приведены на рис. 4.15 (варианты 1—6), а аномалии в случае вертикальной скважины, заданной с наклонной плоскости раздела земля — воздух, приведены на рис. 4.16 (варианты 1—4).

Более сложные выражения для горизонтальной H_p и вертикальной H_z составляющих магнитного поля будут иметь место в случае наклонных скважин, заданных с наклонной плоскости раздела земля — воздух.

Здесь в зависимости от угла наклона местности Ψ , наклона скважины вправо или влево от вертикальной оси и расположения рудного тела слева или справа от оси скважины могут быть рассмотрены восемь вариантов (см. рис. 4.16, варианты 5—12).

Для этих вариантов ниже приведем лишь окончательные формулы для вертикальной (осевой) составляющей H_z .

Варианты 5—6. Угол наклона местности Ψ отрицателен. Скважина отклонена влево от вертикальной оси. Тогда вертикальная компонента H_z будет:

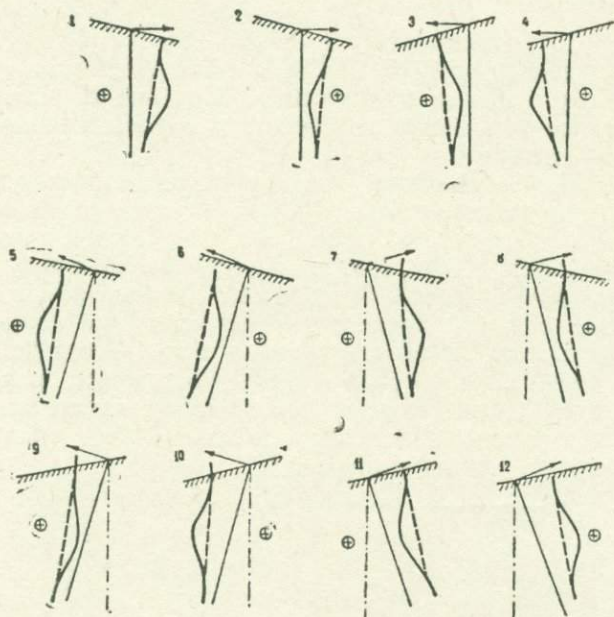


Рис. 4.16. Аномалии вертикальной составляющей H_z от подземного проводника, расположенного справа или слева от оси вертикальной и наклонной скважин, заданных с горизонтальной плоскости раздела земля—воздух.

$$H_z = H_{p0} e^{-\delta h \sin[180^\circ - (\Psi + \gamma)]} \cos[180^\circ - (\Psi + \gamma)] \pm \frac{0.2 I_2 P}{P^2 + (R_1 - h)^2} \Big|_{h < R_1}; \quad (4.57)$$

$$H_z = H_{p0} e^{-\delta h \sin[180^\circ - (\Psi + \gamma)]} \cos[180^\circ - (\Psi + \gamma)] \pm \frac{0.2 I_2 P}{P^2 + (h - R_1)^2} \Big|_{h > R_1}.$$

Если рудное тело расположено слева от оси скважины, то в формулах (4.57) берется знак (+) и наблюдается максимальное значение H_z ; если же рудное тело расположено справа от оси скважины, то берется знак (-) и наблюдается минимальное значение.

Варианты 7—8. Угол наклона местности отрицателен. Скважина отклонена вправо от вертикальной оси. Тогда вертикальная компонента будет:

$$H_z = H_{p0} e^{-\delta h \sin(\gamma - \Psi)} \cos(\gamma - \Psi) \pm \frac{0.2 I_2 P}{P^2 + (R_1 - h)^2} \Big|_{h < R_1}; \quad (4.58)$$

$$H_z = H_{p0} e^{-\delta h \sin(\gamma - \Psi)} \cos(\gamma - \Psi) \pm \frac{0.2 I_2 P}{P^2 + (h - R_1)^2} \Big|_{h > R_1}.$$

Если рудное тело расположено слева от оси скважины, то в формулах (4.58) берется знак (+) и наблюдается максимальное значение H_z ; если же рудное тело расположено справа от оси скважины, то берется знак (-) и наблюдается минимальное значение H_z .

Варианты 9—10. Угол наклона местности Ψ положителен. Скважина отклонена влево от вертикальной оси. Тогда H_z будет:

$$H_z = H_{p0} e^{-\delta h \sin(\gamma - \Psi)} \cos(\gamma - \Psi) \pm \frac{0.2 I_2 P}{P^2 + (R_1 - h)^2} \left| h < R_1; \right. \quad (4.59)$$

$$H_z = H_{p0} e^{-\delta h \sin(\gamma - \Psi)} \cos(\gamma - \Psi) \pm \frac{0.2 I_2 P}{P^2 + (h - R_1)^2} \left| h > R_1. \right.$$

Если рудное тело расположено справа от оси скважины, то в формулах (4.59) берется знак (+) и наблюдается максимальное значение H_z ; если же рудное тело расположено слева от оси скважины, то берется знак (-) и наблюдается минимальное значение.

Варианты 11—12. Угол наклона местности Ψ положителен. Скважина отклонена вправо от вертикальной оси. Тогда H_z будет:

$$H_z = H_{p0} e^{-\delta h \sin[180^\circ - (\Psi + \gamma)]} \cos[180^\circ - (\Psi + \gamma)] \pm \frac{0.2 I_2 P}{P^2 + (R_1 - h)^2} \left| h < R_1; \right. \quad (4.60)$$

$$H_z = H_{p0} e^{-\delta h \sin[180^\circ - (\Psi + \gamma)]} \cos[180^\circ - (\Psi + \gamma)] \pm \frac{0.2 I_2 P}{P^2 + (h - R_1)^2} \left| h > R_1. \right.$$

Если же рудное тело расположено справа от оси скважины, то в формулах (4.60) берется знак (+) и наблюдается максимальное значение H_z ; если же рудное тело расположено слева от оси скважины, то берется знак (-) и наблюдается минимальное значение H_z .

Аномалии вертикальной составляющей H_z от подземного проводника, расположенного справа от оси наклонных скважин, заданных с наклонной плоскости раздела земля—воздух, приведены на рис. 4.16 (варианты 5—12).

Аномалии от контакта разнородных пород. Решение этого вопроса представляет довольно трудную задачу. С целью упрощения поставленной задачи здесь рассмотрим контакт при вертикальной плоскости раздела двух разнородных тел и решим эту задачу в первом приближении. Более строгое решение распространения радиоволн над вертикальным контактом для задач наземного варианта метода радиокип было дано Ю. К. Калинин [130]. Ниже рассмотрим аномальное поле от вертикального контакта разнородных пород вдоль выработки, расположенной на некоторой глубине.

Пусть плоскость раздела земля—воздух горизонтальна, выработка расположена на некоторой глубине h и пересекает вертикальный контакт разнородных пород 1 и 2 (рис. 4.17) с соответствующими параметрами $\sigma_1, \varepsilon_1, \mu_1 (\delta_1)$ и $\sigma_2, \varepsilon_2, \mu_2 (\delta_2)$.

Поместим начало координатной системы в точке пересечения контакта пород с горизонтом выработки. Направим ось x вдоль контакта по направлению распространения радиоволн, ось y —вдоль выработки, а ось z —вертикально вверх.

Если контактирующие породы обладают различными электропроводностями, то будут различными и плотности циркулирующих в них токов, а следовательно, и напряженности поля.

В этом случае нормальное поле в среде 1 на глубине h равно $H_{H1} = H_{p0} e^{-\delta_1 h}$, а в среде 2 — $H_{H2} = H_{p0} e^{-\delta_2 h}$.

Если проводимость $\sigma_1 < \sigma_2$, то напряженность горизонтальной составляющей в первой среде будет больше, чем во второй, и на контакте этих сред, в точке O , должен наблюдаться скачок напряженности поля.

Теперь рассмотрим случай измерения составляющих напряженности магнитного поля СДВ в вертикальной скважине наземного бурения, пересекающей контакты разнородных пород.

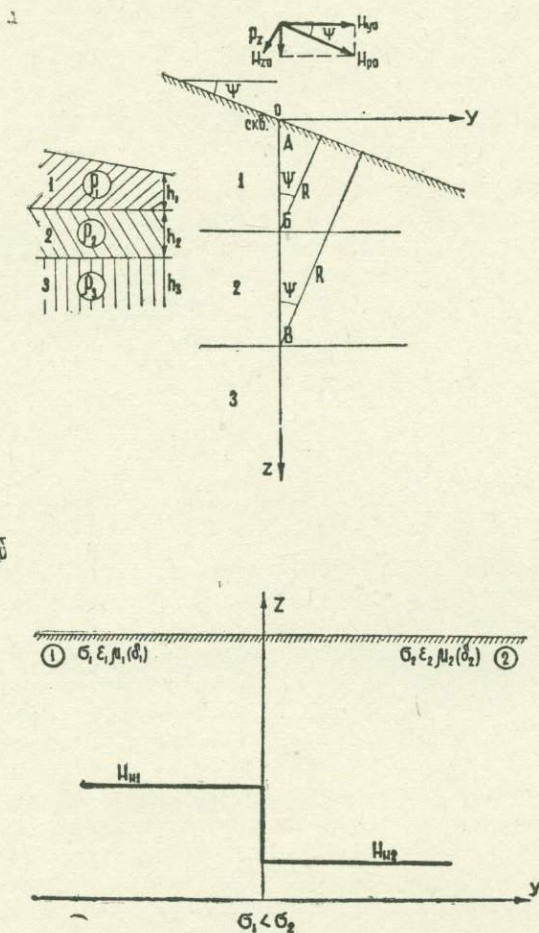


Рис. 4.17. К расчету напряженности поля СДВ на контакте разнородных пород. а—вдоль оси скважины; б—вдоль подземной выработки.

Направим ось ox вдоль направления распространения радиоволн, а ось oz — вниз. Пусть плоскость раздела земля — воздух составляет с осью oy некоторый угол Ψ , который является интерес для горных районов, таких как, например, Армения). Верхнее пространство ($z < 0$) заполнено непроводящим воздухом с диэлектрической проницаемостью ϵ_0 . Магнитная проницаемость μ повсюду равна единице.

Как известно, в этом случае в воздухе у границы раздела земля — воздух наблюдается как вертикальная H_{z0} , так и горизонтальная $H_{\rho 0}$ составляющие напряженности магнитного поля $H_{\rho 0}$. Эти составляющие (рис. 4.17) выражаются следующим образом:

$$H_{y0} = H_{p0} \cos \Psi; \quad H_{z0} = H_{p0} \sin \Psi. \quad (4.61)$$

При распространении первичной плоской радиоволны в глубь однородной проводящей среды по нормали R составляющие напряженности поля H_{y0} и H_{z0} будут изменяться по экспоненциальному закону и на некоторой глубине h примут следующие значения:

$$H_{yh} = H_{p0} e^{-\delta h \cos \Psi} \cos \Psi; \quad H_{zh} = H_{p0} e^{-\delta h \cos \Psi} \sin \Psi. \quad (4.62)$$

Рассмотрим неоднородную среду, состоящую из трех горизонтальных пластов с удельными сопротивлениями ρ_1, ρ_2, ρ_3 и коэффициентами поглощения радиоволн $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ (рис. 4.17).

Очевидно, в этом случае влияние контактов разнородных пород скажется на кривой нормального поля вдоль оси скважины для первого слоя ρ_1 .

На участке AB (рис. 4.17) на глубине h_1 , у границы раздела двух сред с сопротивлениями ρ_1 и ρ_2 и коэффициентами поглощения δ_1 и δ_2 , нормальные поля горизонтальной H_{h1} и вертикальной H_{zh1} составляющих магнитного поля будут соответственно равны:

$$H_{h1} = H_{p0} e^{-\delta_1 h_1 \cos \Psi} \cos \Psi; \quad H_{zh1} = H_{p0} e^{-\delta_1 h_1 \cos \Psi} \sin \Psi. \quad (4.63)$$

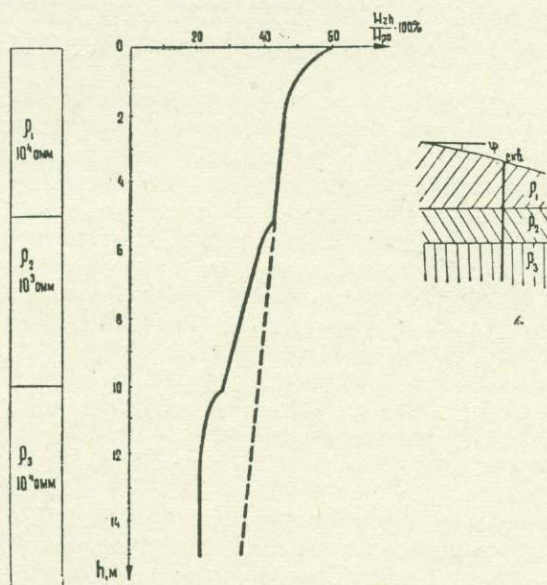


Рис. 4.18. Теоретическая кривая вертикальной составляющей H_z магнитного поля вдоль оси вертикальной скважины.

Так как согласно граничным условиям тангенциальные H_{h1} и нормальные H_{zh1} составляющие магнитного поля у границы раздела двух сред непрерывны, то во второй среде с сопротивлением ρ_2 и коэффициентом поглощения δ_2 , на участке BB , равном h_2 , их изменение составит:

$$H_{h2} = H_{h1} e^{-\delta_2 h_2 \cos \Psi}; \quad H_{zh2} = H_{zh1} e^{-\delta_2 h_2 \cos \Psi}, \quad (4.64)$$

или, подставив значение H_{h1} и H_{zh1} , из формул (4.64) получим:

$$H_{h2} = H_{p0} e^{-(\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2) \cos \Psi} \cos \Psi; \quad H_{zh2} = H_{p0} e^{-(\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2) \cos \Psi} \sin \Psi. \quad (4.65)$$

Аналогично для третьей среды с сопротивлением ρ_3 и коэффициентом поглощения δ_3 на некоторой глубине h_3 , отсчитываемой от границы раздела второй и третьей среды (от точки B), имеем:

$$H_{H3} = H_{P0} e^{-(\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2 + \delta_3 h_3) \cos \Psi} \cos \Psi; \quad (4.66)$$

$$H_{2H3} = H_{P0} e^{-(\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2 + \delta_3 h_3) \cos \Psi} \sin \Psi.$$

Рассмотрев этот случай, можно сделать следующий вывод. При измерении напряженности поля вдоль оси скважины наземного бурения, пересекающей контакты пластов с различными удельными сопротивлениями, при переходе из одной среды в другую будет наблюдаться отклонение полученного графика от хода кривой нормального поля, вычисленного для пласта первой среды на всю глубину скважины.

На рис. 4.18 приведен график теоретической кривой вертикальной («осевой») составляющей магнитного поля, рассчитанный для трех пластов с сопротивлениями $\rho_1 = \rho_3 = 10^4$ ом · м; $\rho_2 = 10^3$ ом · м и при наклоне угла местности $\Psi = 30^\circ$.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ПОДЗЕМНОГО ВАРИАНТА МЕТОДА СДВ-РАДИОКИП

Как известно, теоретическое рассмотрение вопросов, связанных с распространением радиоволн в неоднородных средах (горные породы) весьма сложно. А сама теория интерпретации наблюдений по методам высокочастотной электроразведки в реальной геологической обстановке разработана не полностью. Как было показано выше, теоретическое решение поставленных задач в подземном варианте метода СДВ-радиокип осуществлялось в основном при значительной идеализации реальных условий. Поэтому сложность самой теории заставляет прибегнуть к моделированию как главному средству выявления основных закономерностей, которым подчиняются аномалии электромагнитного поля, и для разработки способов интерпретации.

В связи с этим, с целью получения дополнительных данных по применению метода СДВ-радиокип в подземных условиях в лаборатории ЦНИГРИ под руководством Э. С. Седелникова были проведены модельные исследования.

Следует отметить, что в области высокочастотной электроразведки моделирование задач метода радиокип в широкополосном, а особенно в сверхдлинноволновом диапазонах довольно сложно по сравнению с электроразведкой на постоянном токе, теория которой намного проще.

Остановимся на вопросе моделирования задач скважинного варианта метода СДВ-радиокип.

При скважинных исследованиях можно измерять осевую (вдоль оси скважины) и две перпендикулярные к оси скважины компоненты магнитного поля. Как показывают расчеты, наиболее четкую картину дает осевая компонента, так как первичное поле в этом случае (здесь имеется в виду горизонтальная плоскость раздела земля — воздух) направлено горизонтально.

Моделирование было выполнено в специальной ванне с раствором хлористого натрия. Для полного соблюдения электромагнитного подобия реальным условиям к известным критериям, применяемым в случае безграничной среды [125], следует добавить требование о сохранении длин волн в воздухе и среде.

В случае преобладания токов проводимости над токами смещения критерии подобия выражаются следующим образом:

$$\frac{f_{н\sigma_n}}{f_{м\sigma_m}} = \frac{l_m^2}{l_n^2}; \quad \frac{\lambda_{1н}}{\lambda_{2н}} = \frac{\lambda_{1м}}{\lambda_{2м}}, \quad (4.67)$$

где f_n, σ_n, l_n — частота поля, проводимость среды и линейный размер тела в натуре;

f_m, σ_m, l_m — соответственно то же при моделировании;

$\lambda_{1н}, \lambda_{2н}$ — длина волн в воздухе и среде в натуре;

$\lambda_{1м}, \lambda_{2м}$ — то же при моделировании.

Одновременное соблюдение двух параметров (4.67) возможно лишь в случае, если при моделировании и частота и проводимость увеличивается в $\frac{l_n}{l_m}$ раз, т. е. обратно пропорционально масштабу моделирования.

Так, выбранная частота 15 Мгц при масштабе моделирования 1:1000 соответствовала в действительности частоте 15 кгц, а раствор хлористого натрия 10; 1,0; 0,2 ом·м отвечал сопротивлениям среды 10000, 1000 и 200 ом·м.

В качестве модели рудного тела использовалась графитовая пластина, соответствующая рудному телу размерами $400 \times 150 \times 5$ м с проводимостью 10^2 ом·м.

Прием осуществялся с помощью экранированной миниатюрной магнитной антенны, подключенной экранированным радиочастотным кабелем (типа РД) к регистрирующему прибору, в качестве которого был использован измеритель помех ИП-12М со специальной входной усилительной приставкой.

Общая схема моделирующей установки показана на рис. 4.19. Приемная антенна представляла собой катушку из 10 витков литцендрата 0,2 мм (диаметр витков 2,5 мм) с настраивающим ферритовым сердечником размером 10×1 мм.

Источником поля служил генератор типа Г-3-41 с удлинительной катушкой и антенной на выходе. Генератор мощностью в 3 вт устанавливался на расстоянии 100 м (примерно 5 длин волн) от бака.

При измерении напряженности поля магнитная антенна на кабеле опускалась в винипластовую трубу, которая имитировала скважину.

На рис. 4.20 представлен график наблюдаемых значений H_z вдоль оси вертикальной скважины, полученный в результате модельных исследований. Вертикальная проводящая пластина имитировала рудное тело, залегающее на глубине 100 м и в 40 м в стороне от оси скважины. При этих условиях можно считать, что максимум аномалии (7,5% от нормального горизонтального поля в воздухе H_{p0}) приходится на глубину 120 м (т. е. ниже верхней кромки пласта).

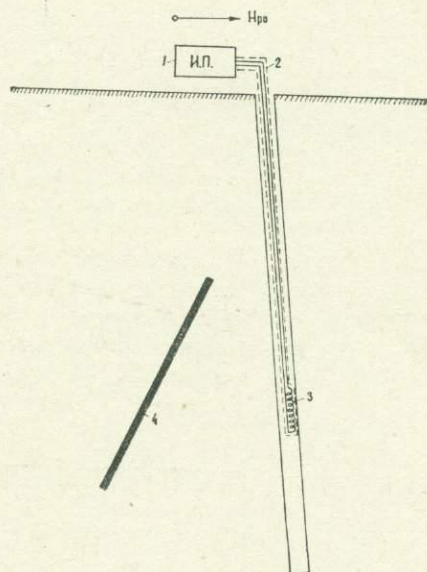


Рис. 4.19. Общая схема моделирующей установки скважинного варианта метода СДВ-радиокип.

1—регистрирующий прибор (измеритель помех); 2—экранированный радиочастотный кабель; 3—рамка приемной ферритовой антенны; 4—графитовая пластинка; H_{p0} —горизонтальная магнитная компонента электромагнитного поля в воздухе.

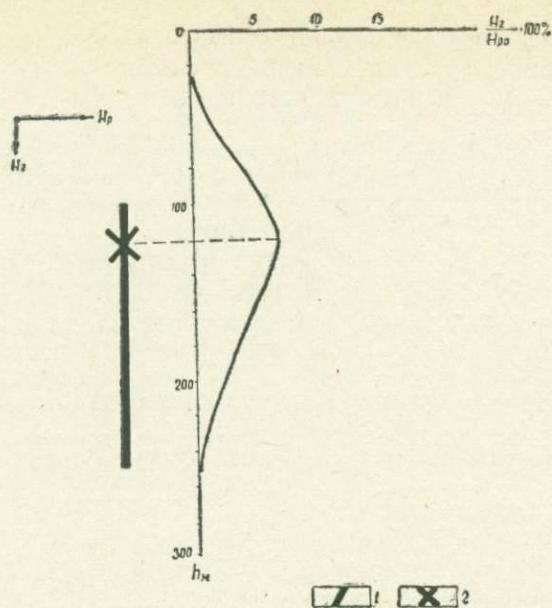


Рис. 4.20. Аномалия магнитного поля, вызванная проводящей пластиной, расположенной параллельно оси вертикальной скважины (по Э. С. Седельникову).

1—графитовая пластина; 2—положение эквивалентного линейного проводника; H_z —вертикальная магнитная компонента в скважине; H_p —горизонтальная магнитная компонента в скважине; H_{p0} —горизонтальная компонента магнитного поля в воздухе.

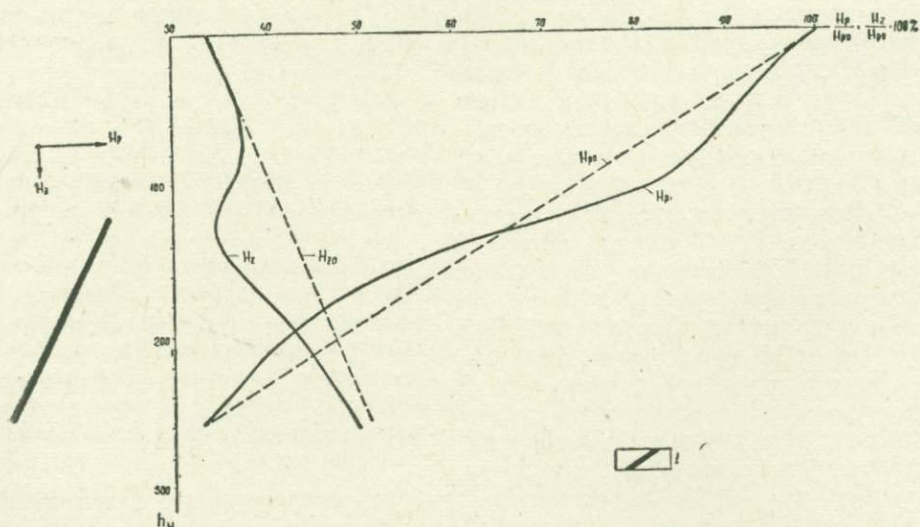


Рис. 4.21. Аномалии компонент магнитного поля H_p и H_z , вызванные наклонной пластиной при наблюдениях в вертикальной скважине (по Э. С. Седельникову).

1—графитовая пластина; H_z , H_p —вертикальная и горизонтальная компоненты магнитного поля в скважине; H_{p0} —горизонтальная компонента магнитного поля в воздухе.

На рис. 4.21 приводятся аномальные кривые вертикальной («осевой») и горизонтальной составляющих напряженности магнитного поля от наклонной проводящей пластины, расположенной в стороне от оси скважины.

По данным моделирования было установлено, что при глубине залегания верхней кромки пласта на 80 м от поверхности земли аномалия H_z составила 10%, а на глубине 120 м — около 7% от H_{p0} , что объясняется затуханием первичного поля с глубиной. Из вышеизложенного следует, что на глубинах в несколько сотен метров в породах низкого и среднего сопротивления (десятки, сотни, первые тысячи ом·м) аномалию от верхней кромки пласта заметить будет трудно.

В заключение данного подраздела следует заметить, что описанные представления об аномальных полях в подземных условиях находятся в соответствии с данными полевых исследований.

4.3. АППАРАТУРА ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО ВАРИАНТА МЕТОДА СДВ-РАДИОКИП

Общие требования к аппаратуре. В подземных выработках с целью выявления геологических неоднородностей могут изучаться как вертикальная, так и горизонтальная составляющие вторичного поля.

Метод радиокип не нуждается в собственном передатчике, и здесь особые требования могут предъявляться лишь к приемнику. Измерение магнитной составляющей поля осуществляется с помощью рамочной или ферритовой антенны, обладающей хорошим эффектом направленности, и, что особенно важно, не подверженной емкостным влияниям (от рук оператора, близко расположенных предметов и т. п.). Этот последний фактор имеет немаловажное значение при подземных наблюдениях. В связи с этим, если в приемнике СДВ-радиокип применить ферритовые или рамочные антенны, то они будут одинаково эффективны при измерениях как на поверхности земли, так и в подземных выработках, что придает измерительной аппаратуре определенную универсальность. Помимо этого, приемник метода СДВ-радиокип должен быть хорошо герметизирован во избежание проникновения внутрь его влаги при измерениях в подземных выработках, легок и транспортабелен.

Особые условия предъявляются к скважинной аппаратуре метода СДВ-радиокип. Как было показано, в скважинах можно измерять как вертикальную (или осевую) составляющую напряженности поля, вектор которой направлен вдоль оси скважины, так и горизонтальную (или нормальную) составляющую напряженности поля, вектор которой нормален к оси скважины. Скважинная аппаратура метода СДВ-радиокип должна состоять из наземного блока и скважинного зонда с приемной антенной. Тщательная герметизация скважинного зонда, передача информации от приемной антенны к наземной регистрирующей аппаратуре по экранированному кабелю, высокая чувствительность аппаратуры в целом и т. п. — вот основные требования, которые должны быть учтены при конструировании скважинной аппаратуры.

Полевая аппаратура метода радиокип. Сначала для полевых измерений напряженности радиополя широкоэвещательных радиостанций, работающих в диапазоне частот 150—600 кгц, в геологических целях использовались выпускаемые промышленностью измерители радиопомех ИП-12-2М (ИП-25) [75, 130], оборудованные специальной рамочной антенной.

Затем по мере внедрения метода радиокип в практику геологоразведочных работ А. Г. Тарховым был разработан полевой радиокомпатор типа «Руда» [130], предназначенный для относительных измере-

ний напряженности магнитной составляющей поля удаленных радиостанций (вертикальной и обеих горизонтальных компонент), а также для определения направления прихода радиоволны (пеленга) и угла наклона вектора поля к горизонту. В приборе использован принцип радиокомпарационных измерений, который заключается в сравнении э. д. с., наводимых в приемной антенне исследуемым полем, с одной стороны, и подаваемых на вход от собственных шумов генератором, с другой. Аппаратура «Руда» представляет собой однодиапазонный приемник, выпущенный в двух вариантах с частотами от 150 до 420 кгц ($\lambda = 2000-715$ м) и от 230 до 630 кгц ($\lambda = 1300-500$ м). Прием ведется на экранированную рамочную антенну.

В 1958 г. А. Д. Фроловым и Г. М. Мкртчяном был создан специальный прибор для работы методом радиокип—полевой измеритель напряженности электромагнитного поля на полупроводниковых триодах—ПИНП-1 [78, 140]. Этот прибор представляет собой высокоизбирательный супергетеродинный микровольтметр, способный измерять напряжение от 0,3 до 1000 мкв с точностью $\pm 10\%$ в диапазоне частот 150—450 кгц. Он снабжен специальной поворотной магнитной антенной, с помощью которой можно измерять различные составляющие и элементы эллипса поляризации радиополя, стрелочным индикатором для измерения напряжения и громкоговорителем для звукового контроля работы радиостанции.

В последние годы наибольшее распространение получили приборы модели ПИНП-2.

Разработаны также макеты приборов ПИНП-3 и ПИНП-4, рассчитанные на диапазоны частот: первый—50—150, а второй—10—30 кгц.

Первый образец аппаратуры для измерения полей сверхдлинных радиоволн был разработан в ЦНИГРИ под названием микровольтметра МКВЭ-1 (10—30 кгц). На базе этой аппаратуры был разработан малогабаритный прибор СДВР-3, который в отличие от прибора МКВЭ (10—30 кгц) уменьшен в размерах, имеет небольшой вес (5,5 кг) и удобен при полевых наблюдениях. В этом приборе вместо рамочной антенны применена высокочувствительная антенна на ферритовом сердечнике. Помимо измерения магнитного поля прибор СДВР-3, как и МКВЭ (10—30 кгц), позволяет также измерить и электрическое поле. С помощью этой аппаратуры измеряется напряженность вертикальной и горизонтальной составляющих магнитного поля, напряженность горизонтального электрического поля в земле, знак угла наклона вектора магнитного поля к горизонту. Диапазон принимаемых частот 10—30 кгц.

Из зарубежных источников известны некоторые варианты аппаратуры метода радиокип, использующие поля сверхдлинноволновых радиостанций. В настоящее время, согласно рекламным проспектам, такие приборы разработаны и производятся в Канаде. Ими являются: Ronka EM 16 фирмы Geonics Limited, а также Radem фирмы Crone Geonics Limited, предназначенные для наземных исследований, и KEM (kilocycle or very low radio frequency EM) фирмы Mc PHAQR G. L., предназначенный для воздушной съемки.

Каждый из указанных приборов предназначен для различных целей геофизической разведки. Так, например, прибор фирмы Geonics Limited Ronka EM 16 позволяет измерить напряженность магнитной составляющей электромагнитного поля радиостанций, работающих в диапазоне частот 15-25 кгц. Прибор весит 1,1 кг. К прибору прилагаются три сменных контура для приема других радиостанций. Кроме того, на основе этого прибора этой же фирмой разработан аэровариант аппаратуры EM 16 [163]. Аппаратура EM 16 имеет малый вес, высокую чувствительность, позволяет измерять компоненты магнитного поля, угол наклона осей эллипса поляризации. Сообщается также, что данная аппаратура

может быть использована при работе в подземных выработках, причем достаточный для измерения уровень сигнала наблюдался вплоть до глубины 500 м. Здесь в качестве источника поля использовались довольно мощные сверхдлинноволновые радиостанции военно-морского флота США, специально предназначенные для связи с подводными лодками.

Прибор Radem служит для разведки тел и пластов, выклинивающихся на поверхности земли. Как указывается в проспекте, фирма гарантирует также возможность поисков вкрапленных и мелких сульфидных рудных тел. Общий вес прибора около 7 кг. Он имеет пять фиксированных частот и настроен на следующие радиостанции: 17,8 кгц (Culter, Meine); 18,6 кгц (Seattle, Wash.); 20,0 кгц (Ft. Collins Colorado); 21,4 кгц (Annapolis, Md); 24,0 кгц (Balboa, Panama). Кроме того, в приборе предусмотрены запасные фиксированные частоты: 15,5 кгц (N.w. Cape, Australia); 23,4 кгц (Lualuaber, Hawaii); 16,0 кгц (Rugby, England). Помимо этого возможно произвести настройку и на любые другие радиостанции в этом диапазоне.

Для наблюдения методом радиокип в подземных горных выработках специальной аппаратуры не имеется. Из отечественных приборов в этих условиях могут быть использованы приборы, разработанные специально для наземных исследований — МКВЭ (10—30 кгц) [88] и СДВР-3.

Скважинная аппаратура метода радиокип. В последние годы в скважинах наземного бурения успешно применяются различные модификации подземного радиоволнового метода, использующие автономные подземные передатчики: радиоволновое просвечивание и радиоволновое профилирование для поисков рудных тел вблизи одиночных скважин и т. д.

Применение межскважинного радиоволнового просвечивания в некоторых районах Союза затруднено. Основными причинами неэффективности его применения являются: 1) небольшая дальность действия существующей аппаратуры, что вызвано в основном низким сопротивлением вмещающих пород; 2) отсутствие густой сети наземных скважин.

В связи с этим в таких районах (как, например, Армения) наиболее приемлемой может явиться постановка геофизических исследований в одиночной скважине с целью выявления рудных тел в околоскважинном пространстве. Даже качественное решение таких поисковых задач принесет большую пользу. В этом случае для геологоразведочных работ большую ценность может представить установление расстояния до рудных тел, их размеров, местонахождения и элементов залегания. Как известно, одним из методов, способным частично или полностью решить перечисленные задачи, является радиоволновое профилирование [91].

Некоторые задачи при исследовании одиночных скважин можно решить измерением поля СДВ вдоль оси скважины. Основой явились результаты измерения поля СДВ в подземных горных выработках на глубине до 300 м [34, 36, 40]. Отсутствие специального передатчика дает возможность производить измерения в односкважинном варианте, чем намного упрощается конструкция и самой аппаратуры. Следует отметить, что измерение радиополя СДВ в скважинах имеет преимущество по сравнению с измерением поля в подземных выработках, так как в этом случае практически отсутствует влияние различных искусственных проводников, которые встречаются в подземных выработках.

Исходя из теории метода радиокип, можно сконструировать скважинный зонд, позволяющий измерять как горизонтальные составляющие напряженности магнитного поля, так и вертикальную (или осевую, направленную вдоль оси скважины) компоненту первичного и вторичного полей. Измерение горизонтальной компоненты (или нормаль-

ной к оси наклонной скважины) первичного и вторичного полей менее желательно, так как аномальный эффект от возмущающего объекта в этом случае проявляется на фоне нормального поля. При измерении в вертикальной скважине в случае горизонтальной плоскости раздела земля — воздух измеряется так называемая «чистая аномалия». Как показали модельные исследования, измерение осевой составляющей H_z при скважинных наблюдениях более эффективно.

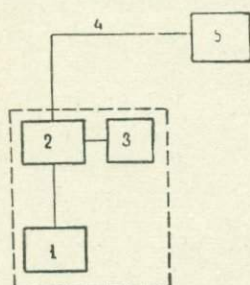


Рис. 4.22. Блок-схема аппаратуры метода СДВ-радиокип для измерения вертикальной (или осевой) компоненты магнитного поля в скважине. 1—приемная ферритовая антенна; 2 — скважинный усилитель; 3 — автономное питание скважинного усилителя; 4 — радиочастотный кабель типа РК-1; 5—наземный электронно-регистрирующий прибор типа СДВР-3

К тому же конструирование скважинного зонда для измерения горизонтальных составляющих магнитного поля имеет ряд технических трудностей, поэтому и с конструктивной точки зрения, и методической более предпочтительным является скважинный зонд для измерения осевой составляющей.

Именно поэтому нами было обращено внимание на создание скважинного зонда для измерения составляющей H_z , конструкция которого нами рассматривается ниже [35]. **Аппаратура для измерения осевой компоненты магнитного поля в скважине** состоит из скважинного зонда и наземного измерительного прибора. Скважинный зонд является составной частью измерительного прибора СДВР-3, разработанного в ЦНИГРИ МГ СССР. Блок-схема этой аппаратуры представлена на рис. 4.22.

Скважинный зонд состоит из двух основных частей (рис. 4.23): блока антенны и головки зонда.

В блоке антенны помещена приемная магнитная антенна (1), которая состоит из ферритового стержня (2) марки М100В4 длиной 200 мм и трех последовательно соединенных катушек (3) с 350 витками провода ПЭЛ диаметром 0,51 мм. Один конец ферритового стержня крепится в изоляционной втулке (6), соединенной с шасси (8), на котором размещены плата блока предварительного усилителя (7) и штепсельный разъем (9).

Ферритовый стержень антенны с катушками, залитый эпоксидной смолой (4), вместе с антенным усилителем помещен в охранный кожух (10), основная часть которого, соответствующая длине магнитной антенны, изготовлена из неметаллического материала (винипласта).

Антенный усилитель собран (рис. 4.24) на планарно-эпитаксиальных транзисторах типа КТ-315. Усилитель обеспечивает усиление сигнала антенны на 10—15 дБ (в 10—30 раз по мощности). Питание усилителя автономное, оно осуществляется от аккумулятора 7Д-0,1 напряжением в 9 в. Потребляемый ток не превышает 8 ма. Без перезарядки аккумулятор обеспечивает непрерывную работу усилителя в течение 12 часов. Особенностью схемы является использование непосредственной связи между транзисторами, а также применение транзисторов с малым обратным током коллектора и хорошими характеристиками в широком диапазоне температур. Первый каскад усилителя работает по схеме с общим эмиттером, два последующих — с общим коллектором. Такое сочетание схем создает благоприятные условия для устойчивой работы усилителя в широком диапазоне частот. Частотная характеристика антенны приведена на рис. 4.25.

Головка зонда (рис. 4.24,б) состоит из блока автономного питания (2), штепсельной вилки (3), влагопоглотителя (6) и выходного штыря (5), к которому подсоединяется высокочастотный кабель. На охранный кожух (1) головки зонда навинчивается колпак (4), к которому с помощью специального винта крепится трос или фал для спуска зонда в скважину.

В рабочем состоянии блок антенны и головка зонда стыкуются вместе и через штепсельные вилки (3) подается питание к усилителю. После завершения работы с целью увеличения срока службы аккумулятора части зонда расстыковываются и закрываются защитными колпаками.

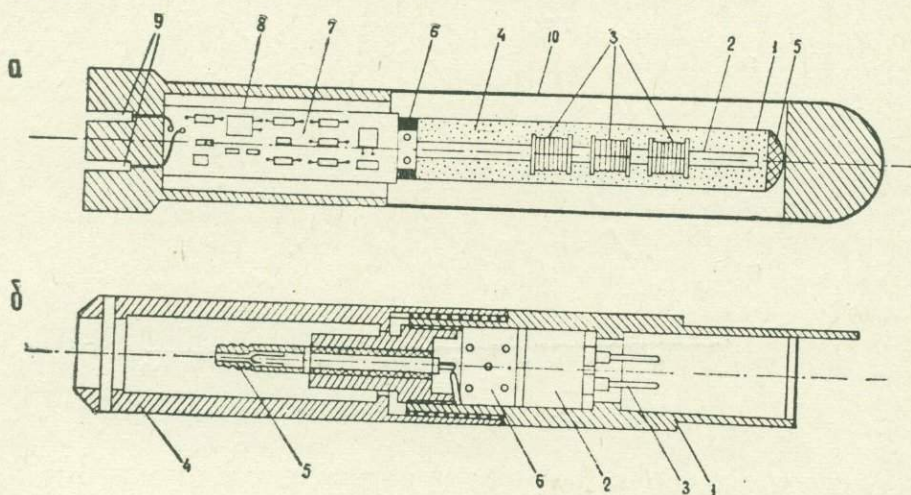


Рис. 4.23. Схема блока антенны и головки зонда.

а) Блок антенны: 1—приемная антенна; 2—ферритовый стержень; 3—катушки с проводом; 4—эпоксидная смола; 5—резиновый амортизатор; 6—изоляционная втулка; 7—блок предварительного усилителя; 8—шасси; 9—штепсельный разъем; 10—винипластовый охранный кожух.

б) Головка зонда: 1—охранный кожух; 2—блок питания; 3—штепсельная вилка; 4—колпак с винтом для закрепления фала или троса; 5—выходной штырь; 6—влагопоглотитель.

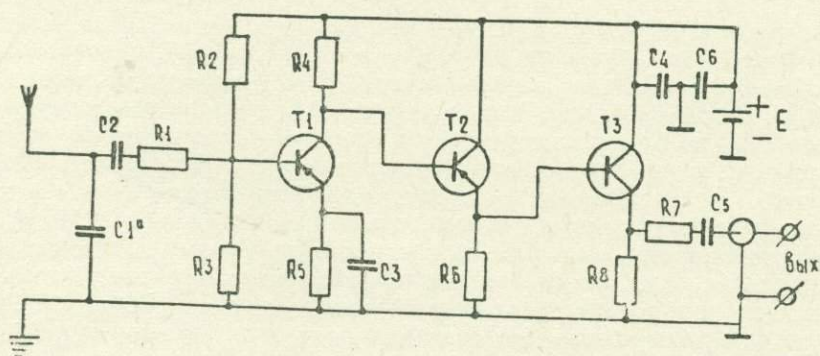


Рис. 4.24. Антенный усилитель. T_1, T_2, T_3 —транзисторы типа КТ-315; C_1 —конденсатор КМ-1500 пф; C_2, C_3, C_4, C_5, C_6 —конденсаторы КМ-0,033 мкф; R_1 —120; R_2 —33 к; R_3, R_6 —5,6 к; R_4 —4,7 к; R_5 —1,2 к; R_6 —100; R_7 —1,5 к—резисторы типа МЛТ-0,5; E —аккумулятор типа 7Д-0,1.

Габариты зонда составляют: диаметр 36 мм, длина 816 мм. Вес — 3.7 кг. Скважинную аппаратуру обслуживают оператор и двое рабочих.

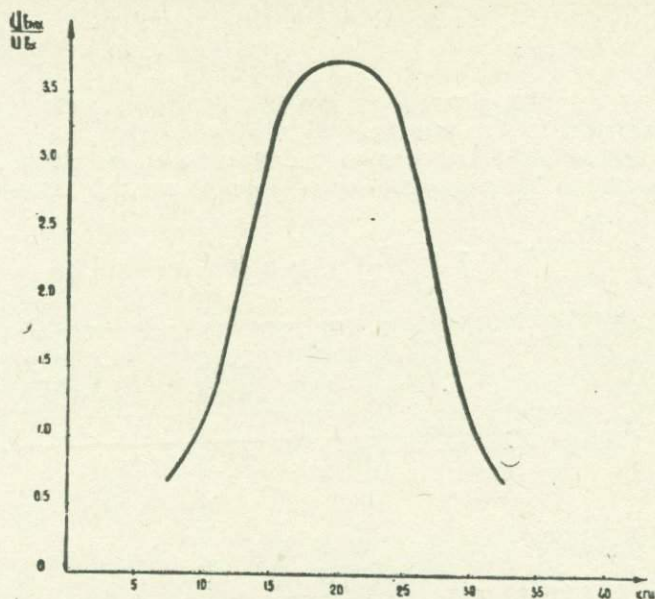


Рис. 4.25. Частотная характеристика антенны.

4.4. МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ РАБОТ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВАРИАНТЕ МЕТОДА СДВ-РАДИОКИП

Измерение радиополя в подземных выработках. Полевые работы методом радиокип в подземных выработках, как и при наземных исследованиях, обычно начинаются с выбора наиболее подходящей радиостанции.

Последний должен основываться, в первую очередь, на соблюдении, по возможности, условия наименьшего отклонения направления на радиостанцию от простирания искомого объекта, так как от этого зависит интенсивность вторичного поля. Если угол между этими направлениями близок к 90° , то обнаружение искомого объекта становится затруднительным.

Как было показано в подразделе 4.1, при вычислении нормального поля H_n на глубине выработки мы исходили из значения напряженности поля H_{p0} на поверхности земли и принимали условие, что магнитная компонента нормального (или первичного) поля направлена вдоль выработки, т. е. радиоволна распространяется перпендикулярно к направлению выработки и вдоль искомого объекта (пласта или жилы). Если же направление на радиостанцию составляет некоторый угол с направлением выработки, то для определения нормального поля вдоль выработки необходимо ввести соответствующую поправку (см. 4.1). В этом случае измеряются уже две составляющие горизонтальной компоненты магнитного поля H_{p0} : одна вдоль, а другая перпендикулярно к направлению выработки.

Обратимся к формулам (4.35) и (4.36). При $L(A-A_1)=90^\circ$, $H_{ny} = H_{p0}e^{-\delta h}$, т. е. когда магнитная компонента направлена вдоль выработки и в случае простирания искомого объекта перпендикулярно к выработке, получим максимальный эффект вторичного поля. Если же

$L(A-A_1) = 0^\circ$, то будет наблюдаться минимальный эффект вторичного поля при том же простирании искомого объекта.

Учитывая вышеизложенное, можно измерить полный вектор нормального поля H_{p0} на поверхности земли, а затем рассчитать его на глубине горизонта выработки с учетом ее направления.

Знание сопротивления вмещающего комплекса пород*, уровня сигнала принимаемой радиостанции на поверхности земли позволяют ориентировочно по приведенной номограмме (рис. 4.27) установить напряженность на соответствующей глубине и, тем самым, выявить эффективность подземного варианта метода СДВ-радиокип. Поэтому выбор радиостанции по мощности имеет особое значение. Чем больше напряженность поля выбранной радиостанции на поверхности земли, тем больше она на заданной глубине и тем интенсивнее будут вторичные поля от геологических неоднородностей.

Вначале необходимо выяснить условия и часы работы выбранной радиостанции, проконтролировать стабильность ее приема в данном районе. Некоторые радиостанции работают круглосуточно, причем наиболее распространенный режим передачи — телеграфные радиоимпульсы со скоростью 60—70 знаков в минуту. Иногда, обычно короткое время, некоторые радиостанции работают в режиме непрерывного излучения. «Сплошной» сигнал включается на несколько минут, затем следует большая пауза. Эти передачи носят систематический характер, но продолжительность их не превышает обычно одного часа. Ниже приводится список некоторых радиостанций, работающих в диапазоне сверхдлинных радиоволн:

Рокки — Пойнт (США)	
Сиэтл (США)	— 18,60 кгц
Сан-Франциско (США)	— 23,00 кгц
Аннаполис (США)	— 19,00 кгц
Колинс (США)	— 20,00 кгц
Регби (Англия)	— 16,00 кгц
Бальбоа (Панама)	— 24,00 кгц
Каука (Гавайские о-ва)	— 17,70 кгц
Науэн (Германия)	— 16,50 кгц

После выбора наиболее подходящей радиостанции переходят к изучению вариаций во времени на контрольной точке, расположенной на поверхности земли и над породами вмещающего комплекса.

Так как в период восхода и захода солнца, а также ночью, из-за изменения концентрации электронов в нижних слоях ионосферы, увеличивается интенсивность отраженной волны, то измерение радиоволнового поля для решения различных геологоразведочных задач целесообразно проводить в дневное время (начиная через час после восхода и кончая за час до захода солнца). Общее представление о суточной вариации сверхдлинноволнового поля дает график, полученный в районе г. Москвы (рис. 4.26) [75].

Следует указать, что в диапазоне частот 10—30 кгц вариации напряженности поля удаленных радиостанций в течение дня в средних широтах обычно не превышают $\pm 10\%$ и в процессе полевых наблюдений методом радиокип их можно не учитывать.

Следует также отметить, что вариации поля можно не учитывать, если измерение радиополя проводится в промежутке времени, когда изменение напряженности поля незначительно и имеет плавный характер. В противном случае результаты полевых измерений следует корректировать на основе типичных кривых вариации поля на одном пунк-

* Здесь принимаем условие независимости параметров среды ϵ , μ , δ от частоты поля и учитываем, что электрические свойства горных пород претерпевают изменения начиная лишь с частот порядка 10^7 — 10^8 гц [126].

те. Для достижения большой точности съемки полезно производить запись напряженности поля на контрольном пункте одновременно со съемкой в подземных условиях.

Остановимся на вопросе определения коэффициента поглощения радиоволн и сопротивления среды при подземных работах методом СДВ-радиокип.

Как известно, формула зависимости напряженности поля на глубине h и на поверхности земли выражается следующим образом [75]:

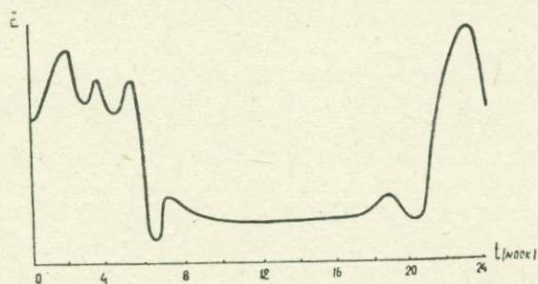


Рис. 4.26. График суточного хода напряженности СДВ.

$$H_{\varphi}(h, \Theta) = H_{\varphi}(\Theta) e^{-2\pi \sqrt{\frac{30}{\lambda} \sigma(1-i)} h}, \quad (4.68)$$

где $H_{\varphi}(h, \Theta)$ — значение горизонтальной составляющей напряженности поля СДВ на глубине h ;

$H_{\varphi}(\Theta)$ — значение горизонтальной составляющей напряженности поля СДВ на поверхности земли;

$\delta = 2\pi \sqrt{\frac{30}{\lambda} \sigma(1-i)} h$ — коэффициент поглощения радиоволн горными породами;

λ — длина волны;

σ — проводимость горных пород в 1/ом·м.

Формулу (4.68) иначе можем записать в таком виде:

$$H_h = H e^{-\delta h} \quad (4.69)$$

Отсюда

$$\delta = \frac{\ln \left(\frac{H}{H_h} \right)}{h}. \quad (4.70)$$

Коэффициент поглощения сверхдлинных радиоволн горными породами можно определить путем измерения напряженности поля в подземных выработках и на поверхности земли. На точках подземных профилей через каждые 5—10 м регистрируется напряженность электромагнитного поля той или иной радиостанции, а затем для каждой точки в отдельности вычисляется коэффициент поглощения δ по формуле (4.70).

В качестве примера определения коэффициента поглощения можем указать на значение δ , найденное как среднее арифметическое для пород Ахталского барит-полиметаллического месторождения Армянской ССР и составляющее около 0,005 неп/м. Зависимость коэффициента поглощения радиоволн от частоты f показана также на рис. 5.2. Здесь приведены средние фактические данные о коэффициенте δ , полученные для частот 16 кгц — 16,6 Мгц.

Коэффициент затухания плоских электромагнитных волн δ для частоты f в среде с проводимостью σ равен [75]:

$$\delta = \frac{1}{c} \sqrt{2\pi f \sigma}, \quad (4.71)$$

где c —скорость света.

Отсюда

$$\sigma = \frac{\delta^2 c^2}{2\pi f}. \quad (4.72)$$

Таким образом, зная коэффициент поглощения радиоволн и частоту f , по формуле (4.72) легко найти проводимость и сопротивление среды (эффективное сопротивление):

$$\rho_{\text{эфф}} = \frac{1}{\sigma}. \quad (4.73)$$

Для упрощения вычисления электрического сопротивления среды при горизонтальной плоскости раздела земля—воздух можно использовать специальную номограмму, приведенную на рис. 4.27 [37]. На оси абсцисс в левой части номограммы отложены значения сопротивления, а в правой части—значения глубин, на которых проводятся геофизические наблюдения. В левой части на оси ординат отложены значения коэффициента поглощения, а в правой части—значения отношений напряженности поля, наблюдаемых на поверхности земли и на глубине h .

Так например, если геофизические наблюдения проводятся в подземной выработке на глубине 100 м, а отношение $H/H_n=1,6$, то при рабочей частоте 20 кгц коэффициент поглощения равен $4 \cdot 10^{-5}$ неп/см (или 0,004 неп/м), а эффективное сопротивление блока пород—900 ом·м.

Таким образом, предварительные измерения напряженностей магнитного, а в некоторых случаях и электрического поля, позволяют вычислить как коэффициент поглощения радиоволн пород и руд, так и их эффективное сопротивление. Помимо этого, знание напряженности поля на поверхности земли необходимо для окончательной интерпретации результатов наблюдений в подземных выработках и скважинах.

С целью более точного вычисления указанных параметров (коэффициента поглощения и сопротивления пород) необходимо в первую очередь приемную рамочную антенну прибора ориентировать на поверхности земли с учетом азимута выработок, в которых намечаются геофизические наблюдения, и произвести соответствующие измерения составляющих электромагнитного поля. В некоторых случаях, как было уже отмечено выше, можно измерить полный вектор магнитного H_{po} или электрического поля на поверхности земли, а затем вычислить соответствующие компоненты вдоль выработки. Направления компонент поля в подземных выработках и при контрольных наблюдениях на поверхности земли принимаются следующие: H_y и E_x —вдоль выработки, H_x и E_y —перпендикулярно к выработке, H_z —вертикальная компонента магнитного поля.

Перед проведением наблюдений поля СДВ в подземных выработках необходимо, в первую очередь, выяснить искажающее влияние искусственных проводников (рельсы, трубы, троллей и т. п.), что в итоге позволит повысить качество интерпретации. Основная задача при этом состоит в выборе места измерения в сечении выработки, которое наименьшим образом подвергается влиянию искусственных проводников.

На этом вопросе следует остановиться более подробно.

Учет искажающих факторов при подземном варианте метода

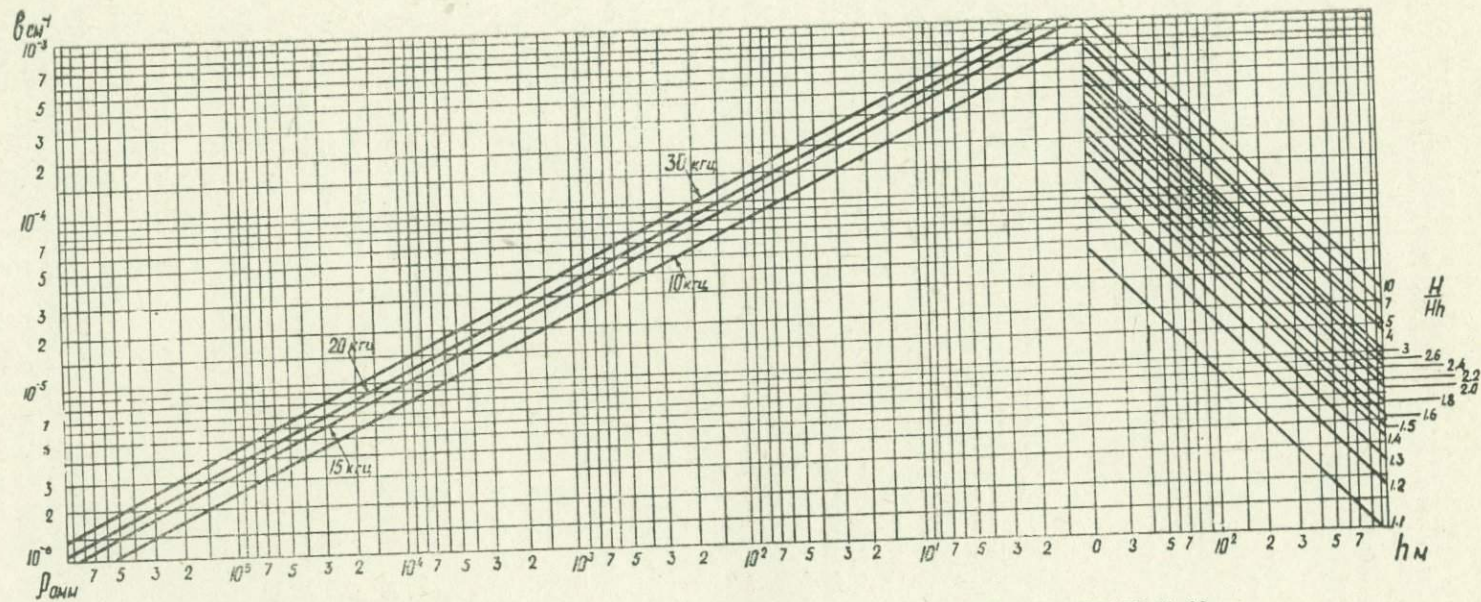


Рис. 4.27. Номограмма для определения коэффициента поглощения радиоволн и сопротивления среды методом СДВ-радиокип (подземный вариант).

СДВ-радиокип. На прием радиосигнала оказывает влияние большое число помех. Источники последних можно разделить на две категории в зависимости от того, где они возникают — внутри или вне приемного устройства.

Внутренние помехи связаны с явлениями в антенне или возникают в самом приемнике: это — шумы теплового происхождения, и в большинстве случаев их влияние на прием сигнала может быть учтено.

Внешние источники помех подразделяются на два вида: помехи естественного происхождения (атмосферные, солнечные и космические) и промышленные помехи.

В подземных выработках основным мешающим фактором являются промышленные помехи, которые в основном связаны с искусственными проводниками.

Искусственные проводники (рельсы, силовые и телефонные линии, трубопроводы и т. д.) под действием радиополя возбуждаются, сами становятся вторичными излучателями и тем самым могут затруднить геологическую интерпретацию полученных данных.

Строгий учет негеологических аномалий и введение количественных поправок практически невозможны. Однако в полевой практике ложные аномалии приближенно можно исключить, если иметь представление о характере аномалий, которые создают искусственные проводники. В связи с этим необходимо, в первую очередь, установить уровень помех в тех или иных местах выработки, а далее уже выбирать для работы оптимальные расстояния от проводников.

С целью решения поставленной задачи вначале изучалось влияние различных искусственных проводников в отдельности, а далее уже измерялось поле СДВ при наличии в выработке всех искусственных проводников вместе [38].

Изучение этого вопроса проводилось непосредственно в подземных выработках с аппаратурой конструкции ЦНИГРИ [88], позволяющей измерять напряженность электромагнитных полей сверхдлинноволновых (СДВ) радиостанций в диапазоне частот 10—30 кгц.

Идеальным условием для геофизических наблюдений в подземных выработках является полное отсутствие искусственных проводников. В этом случае волноводные свойства выработок обычного сечения (2 м × 2 м) начинают сказываться лишь с частот 30—50 Мгц [127]. Как показали наши исследования, поле СДВ в каждой точке сечения выработки, лишенной искусственных проводников, постоянно.

Как известно, в методе радиоволнового просвечивания наибольшее искажение вносят незаземленные линии — троллей, провода и др., наименьшее — рельсы, которые обычно хорошо заземлены по всей выработке [52, 53]. Металлические трубопроводы в этом отношении занимают промежуточное положение. Иная картина наблюдается при измерении поля СДВ в подземных выработках, в которых имеются различные искусственные проводники.

Результаты исследований искажающего влияния рельсовых путей на поле СДВ приведены на рис. 4. 28. Здесь изучалось поле СДВ по сечению выработки вдоль вертикали, перпендикулярной к подошве выработки. Напряженность поля измерялась через каждые 0,1 м. Наибольшее искажение вносят рельсы, находящиеся во влажной подошве (рис. 4. 28, а, б). Вблизи рельсов отмечаются высокие значения вертикальной составляющей магнитного поля H_z . По мере удаления от рельсов их влияние ослабевает, и на высоте 1,2—1,4 м от подошвы выработки наблюдается нормальное поле H_z . На горизонтальные составляющие магнитного поля H_x и H_y рельсы существенного влияния не оказывают. При сухой подошве выработки наибольшее искажающее влияние рельсов сказывается только на поле H_z до высоты 0,5 м, а на высоте 0,5—1,0 м уже отмечается нормальное поле.

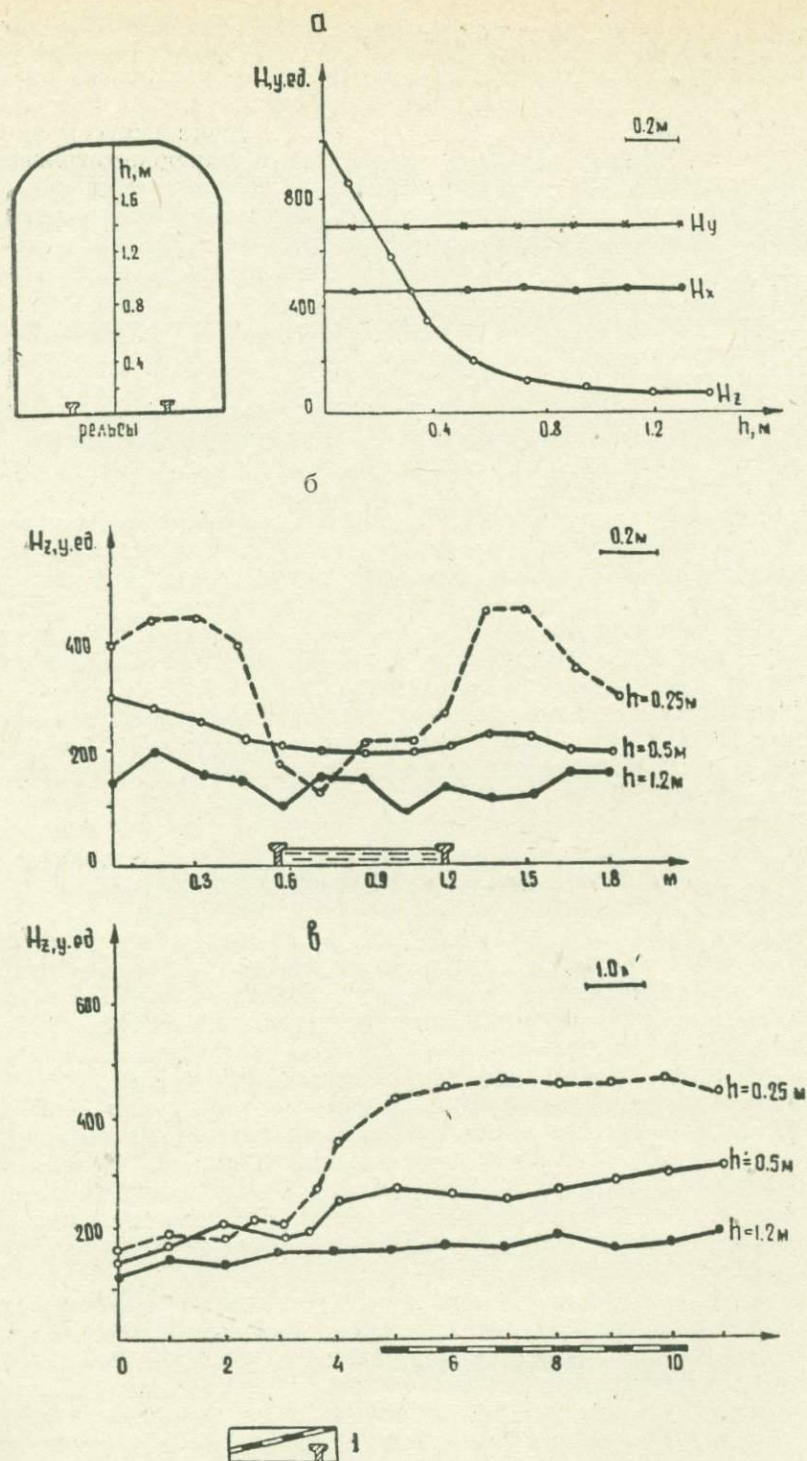


Рис. 4.28. Результаты исследований влияния рельсовых путей на радиополе СДВ. Частота 16 кГц.
 а—графики напряженности поля H_x , H_y и H_z по сечению выработки; б—графики напряженности поля H_z на высотах 0,25, 0,5 и 1,2 м от подошвы выработки; в—графики напряженности поля H_z , полученные на участках выработки с рельсами и без рельсов.

1 — рельсы.

С целью изучения характера распределения электромагнитного поля вдоль выработки на разных высотах на участках с рельсами и без рельсов проводились соответствующие измерения поля H_z , результаты которых приведены на рис. 4.28,в. Над рельсами на высоте 0,25 и 0,5 м наблюдается повышенное значение поля H_z , а за пределами рельсов — нормальное поле, совпадающее по своему значению с величиной H_z , снятой на высоте 1,2 м.

Если искажающее влияние троллея на частотах радиоволнового просвечивания достаточно заметно, то в методе СДВ-радиокип оно несущественно. Его изучение проводилось при расположении приемной рамочной антенны на различном расстоянии от троллея. Как показали исследования, он вообще не вносит существенных искажений в поле СДВ. Изучалось также влияние заземленного и незаземленного провода марки ГПСМ, растягиваемого по центру выработки на высоте 1,5 м. Поле СДВ до и после установки искусственного проводника оставалось одинаковым.

Наибольшее искажение в поле СДВ вносят металлические воздухопроводные грубы.

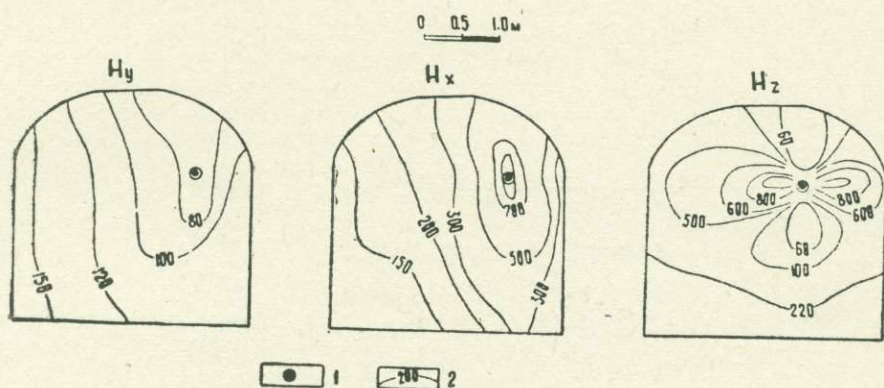


Рис. 4.29. Диаграммы изолиний H_x , H_y и H_z в сечении выработки с металлической воздухопроводной трубой. Частота 16 кгц.
1—труба; 2—изолинии H .

При измерении горизонтальной составляющей H_x (плоскость приемной рамки параллельна стенкам выработки) над трубой и под ней наблюдается максимальное значение напряженности поля (рис. 4.29), вызванное тем, что магнитные силовые линии над трубой и под ней направлены горизонтально и пересекают плоскость рамки. Если же рамка расположена сбоку от трубы, где магнитные силовые линии скользят вдоль плоскости рамки, наводки будут наименьшими. При измерении вертикальной составляющей магнитного поля H_z наблюдается противоположная картина. Как видно из рис. 4.29, наименьшее искажение поля СДВ сказывается на составляющей H_y (плоскость приемной рамки перпендикулярна к стенкам выработки).

На рис. 4.30 приведены графики составляющих магнитного поля H_x , H_y и H_z по двум профилям — I и II, расположенным на различных высотах от подошвы выработки. Профиль I проходит на уровне трубы на высоте 0,9 м от подошвы выработки, а профиль II — на 0,6 м выше трубы. В выработке, кроме воздухопроводной трубы, находились также рельсы. При измерении магнитного поля H_z искажающее влияние трубы и рельсов начинает сказываться уже с пк 3. В этом случае наиболее благоприятной областью измерения вертикальной составляющей H_z является место у дальней стены выработки (пк 1,5—2,0). Искажающее

влияние трубы и рельсов больше сказывается на горизонтальную составляющую H_x , чем на H_y . Но и в этом случае, как это видно из приведенных кривых H_x и H_y областью меньших искажений является место у той же стены выработки, что и для составляющей H_z .

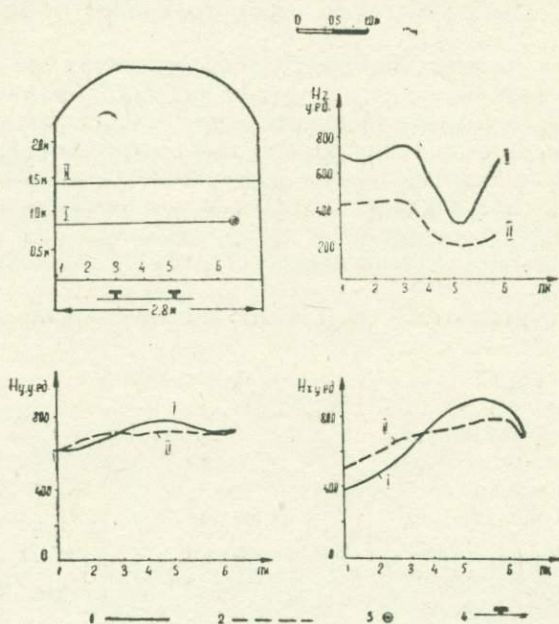


Рис. 4.30. Графики радиополя СДВ (H_x , H_y и H_z), полученные в подземной выработке по двум профилям (I и II), расположенным на разных высотах от подошвы выработки. Частота 16 кгц.

1—графики по профилю I; 2—графики по профилю II; 3—воздухопроводная металлическая труба; 4—рельсы.

При наличии в выработке нескольких искусственных проводников магнитное поле имеет еще более сложный характер, чем в присутствии одного из них. Поэтому для каждого конкретного случая необходимо изучить поле СДВ по сечению выработки с целью выбора места минимальных искажений.

Из вышеизложенного следует, что исключение влияния отдельных искусственных проводников на нормальное поле представляется достаточно сложным. Поэтому следует использовать материал, получаемый при различных условиях наблюдений на том или ином участке. Сравнивая эти результаты, можно оценить вероятные искажения за счет искусственных проводников хотя бы качественно и, тем самым, облегчить выделение аномалий геологического происхождения.

Основные выводы по учету искажающих факторов в подземном варианте метода СДВ-радиокип сводятся к следующему:

1. Поле СДВ в каждой точке сечения выработки, лишенной искусственных проводников, имеет одно и то же значение.
2. Поле СДВ, начиная с высоты 1,2—1,4 м от рельсовых путей, является нормальным независимо от того, сухая подошва выработки или влажная.
3. Троллей искажений практически не вносит.

4. Металлическая воздухопроводная труба, по сравнению с другими искусственными проводниками, наибольшим образом искажает нормальное поле. Наименьшее влияние трубы сказывается на составляющей H_y , направленной вдоль выработки. В связи с этим, в случае наличия искусственных проводников, измерение составляющей H_y более предпочтительно, так как при этом составляющая H_y лучше фиксирует аномальное поле от линейно-вытянутого проводящего объекта, простираение которого перпендикулярно к направлению выработки.

Таким образом, при проведении работ методом СДВ-радиокип в подземных выработках, в которых имеются искусственные проводники, необходимо в первую очередь изучить сечение выработки в каждом конкретном случае с целью выявления области невозмущенного поля. Из результатов измерений напряженности магнитного поля уточняется область нормального поля. После этих исследований проводят съемку по всей выработке, причем приемную антенну на каждом пикете располагают на одном и том же расстоянии от искусственных проводников. Практически это осуществляется довольно легко и не требует больших затрат времени.

После таких предварительных исследований подготавливают участок работ для геофизических наблюдений. Для этого необходимо произвести разметку выработок пикетами через каждые 10—20 м. В местах аномалий целесообразно сгустить точки наблюдений до 2—5 м.

В процессе подземной съемки можно измерять следующие элементы электромагнитного поля: магнитные компоненты — H_x , H_y , H_z , наклон вектора H от горизонтали — угол α , электрическую компоненту E_y . Следует указать, что при измерении электрических составляющих электромагнитного поля E_x и E_y на поверхности земли разносы приемных электродов располагаются во взаимно перпендикулярных направлениях и длина разносов обычно составляет 8—10 м. Само собой разумеется, что в связи со спецификой подземных выработок здесь возможно измерить лишь одну составляющую электромагнитного поля E_y при расположении разносов приемных электродов вдоль выработки. Как показали наши исследования, данные, полученные по одной составляющей электрического поля, в ряде случаев оказывают большую помощь в разбраковке аномалий, выявленных другими геофизическими методами.

При измерении H_x плоскость приемной рамки параллельна направлению выработки, при измерении H_y — перпендикулярна ему, а при измерении H_z — горизонтальна. Компонента E_y измеряется при разносе электродов вдоль выработки.

Если при измерении радиополя по выработке получается нечеткая форма аномалии, то следует, возвратившись назад на несколько точек, повторить наблюдения.

В методе СДВ-радиокип к случайным ошибкам могут быть отнесены короткопериодические вариации напряженности поля радиостанции, изменение режима радиопередачи, уровня атмосферных помех, а также нестабильность аппаратуры, неточность ориентировки приемной рамки антенны, а при измерении электрической составляющей поля — плохие условия заземления приемных электродов и т. п.

К систематическим ошибкам, которые не являются причиной искажения формы аномалии, относят погрешности за счет среднего уровня атмосферных помех и аппаратурных шумов, а также за счет ориентировки приемной антенны и т. п.

Контроль стабильности работы приборов МКВЭ-1 (10—30 кгц) или СДВР-3 проверяется периодически с помощью генератора стандартных сигналов.

Вычисление относительной r и среднеквадратической S_n ошибок для составляющих электромагнитного поля проводится по формулам:

$$r = \frac{\sum_1^n |(\bar{x} - x_i)|}{\sqrt{n(n-1)}} \cdot \frac{1}{x} \cdot 100\%; \quad (4.74)$$

$$S_n = \frac{\sqrt{\sum_1^n (\bar{x} - x_i)^2}}{n(n-1)} \cdot \frac{1}{x} \cdot 100\%, \quad (4.75)$$

где \bar{x} — среднее арифметическое значение для n измерений;
 x_i — результат отдельного измерения;
 n — число измерений.

При достаточно большом числе наблюдений (практически для $n > 30$) между r и S существует следующее соотношение. $S = 1,25 r$ или $r = 0,80 S$.

Так, например, в общем случае ошибка из-за ориентировки приемной рамки антенны в подземных условиях при $\pm 2^\circ$ составляет довольно малую величину: $r = (1 - \cos 2^\circ) \cdot 100\% = 0,06$.

Следует учесть, что в геофизике принято выделять аномалию, превышающую среднеквадратическую ошибку измерений в 2—2,5 раза. Поэтому в методе СДВ-радиокип при использовании, например, аппаратуры МКВЭ-1 (10—30 кгц) могут отмечаться достоверные аномалии H_a порядка 2 S_n % от нормального поля. Если же различные помехи настолько искажают полезную информацию, что ее выделение и интерпретация обычным приемом становятся весьма затруднительными или совсем невозможными, то должна быть использована математическая статистика [128, 129].

Результаты подземных измерений, как в случае наземного варианта метода радиокип, изображаются графически в виде кривых соответствующих величин H_p/H_{p0} , H_z/H_{z0} . При этом желательно, чтобы горизонтальный масштаб построения этих графиков соответствовал масштабу съемки (обычно 1:2000). Вертикальный масштаб для H_p и H_z выбирается таким образом, чтобы аномалии четко выделялись на фоне нормального поля.

Под результирующей кривой напряженности поля необходимо дать все имеющиеся геологические сведения вдоль исследуемой выработки и указать расположение всех зафиксированных металлических предметов (электролинии, трубы, различные электроустановки и т. п.). После этого производят идентификацию полученных аномалий в соответствии с основными типами (проводящий объект, контакт и др.) и исключение аномалий негеологического происхождения. На последнее обстоятельство необходимо обратить особое внимание. По характерным особенностям графика устанавливают местоположение возмущающего объекта — выше или ниже горизонта выработки. Затем уже уточняются геологические границы рудных тел, тектонических нарушений и т. п.

Исходя из типов аномалий, на разрез наносят соответствующие предполагаемые геологические неоднородности с учетом их местоположения в пространстве.

Оценка точности полевых измерений при выполнении производственных работ методом СДВ-радиокип, как и при наземных наблюдениях, производится по контрольным наблюдениям. Для проведения последних обычно выбираются профили с аномальными значениями поля. При удовлетворительном качестве измерений уровень поля может быть различным, но характерные аномальные изменения поля должны повторяться на всех контрольных точках.

В подразделе 4.2 нами рассматривались аномалии от различных геологических неоднородностей, которые были получены при прибли-

куляр к нему из данной точки. На пересечении нескольких таких перпендикуляров и находится верхняя кромка проводящего рудного тела.

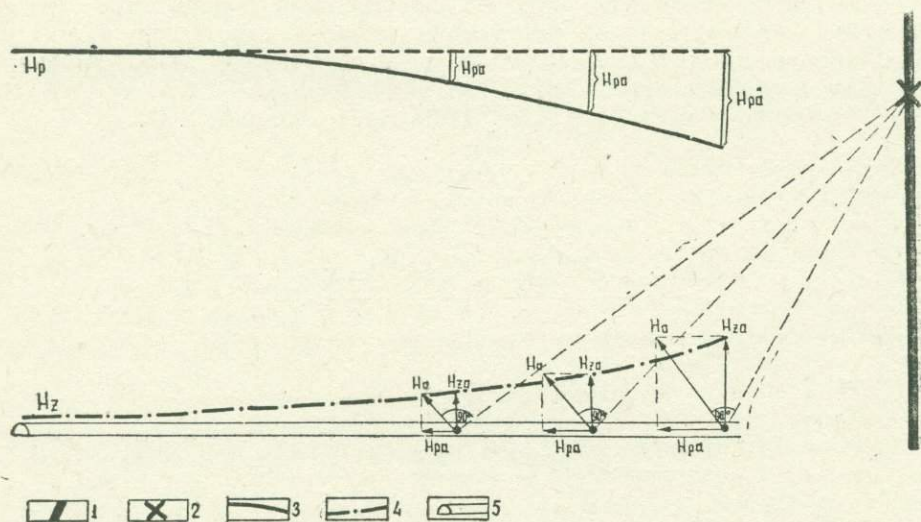


Рис. 4.32. Пример построения вектора аномального поля с целью определения местонахождения верхней кромки рудного тела.

1—рудное тело; 2—местонахождение верхней кромки рудного тела; 3—наблюденная кривая H_{pa} ; 4—наблюденная кривая H_{za} ; 5—подземная выработка или подземная скважина;

H_{pa} —горизонтальная компонента аномального магнитного поля; H_{za} —вертикальная компонента магнитного поля; H_a —вторичное или аномальное магнитное поле.

Измерение радиополя в скважинах. Скважинные измерения радиополя СДВ имеют определенные преимущества по сравнению с измерениями в подземных выработках. Это преимущество в первую очередь заключается в отсутствии влияния различных близко расположенных искусственных проводников, имеющих место в подземных выработках.

Однако при наблюдениях радиополя СДВ в скважинах может возникнуть ряд сложных явлений (неравномерное поглощение радиоэнергии, отражение, преломление и дифрагирование радиоволн на различных препятствиях), влияние которых на результаты измерений считается малым и которые мы пока не в состоянии учитывать на практике.

Помимо вышеперечисленного могут появиться дополнительные пути распространения радиоволн СДВ к приемной антенне непосредственно от поверхности земли по экранированному кабелю, который соединяет скважинный усилитель приемной антенны с наземной аппаратурой—микровольтметром МКВЭ-1 (10—30кГц). В этом случае, если датчик в скважине будет принимать искаженное поле, то измеренную величину напряженности нельзя использовать.

С целью выяснения антенного эффекта соединительного кабеля были проведены специальные опыты, результаты которых приводятся в табл. 4.1.

Как показали эти исследования, а также большой объем полевых наблюдений, нами не был обнаружен существенный привнос радиоэнергии по экранированному кабелю, который мог бы исказить измеренное поле СДВ. Если бы существовал такой привнос радиоэнергии, то не было бы получено четких кривых H_z в районе верхней кромки рудных тел, тектонических нарушений и контактов разнородных пород, которые полностью коррелируются с геологической колонкой исследуемой скважины.

Измерение осевой компоненты напряженности магнитного поля в скважинах проводится с помощью специального скважинного зонда и микровольтметра МКВЭ-1 (10—30 кгц), описанных в 4.3. Все измерения можно проводить как в вертикальных, так и наклонных скважинах.

Измерение радиополя СДВ в скважинах проводят в следующем порядке:

1. Измерительный пульт (микровольтметр МКВЭ-1) устанавливают вблизи устья скважины.

2. С целью избавления от электростатических наводок заземляют корпус микровольтметра на обсадную трубу скважины, линию водопровода или на другие хорошо заземленные металлические массы.

3. Присоединяют один конец кабеля РК-1 к микровольтметру, а другой с помощью каротажного разъема — к усилителю скважинного зонда.

4. Завинчивают накидную гайку на предохранительный корпус скважинного усилителя.

5. Устанавливают скважинный зонд горизонтально, берут отсчет максимального значения напряженности поля, соответствующий H_{p0} , и пеленг на радиостанцию. Если скважина задана на склоне горы, то берут отсчет также вертикальной составляющей H_{z0} .

Т а б л и ц а 4.1

Проверка антенного эффекта соединительного кабеля

№ опыта	Содержание опыта	Показание микровольтметра (усл. ед.)
1	Вход микровольтметра закорочен	2
2	К микровольтметру подключен кабель типа РК-1 (длиной около 170 м), второй конец которого закорочен	2
3	Тот же опыт 2, только к концу кабеля подключено сопротивление 77 ом	2
4	К одному концу кабеля РК-1 подключен скважинный усилитель без приемной антенны	5
5	Тот же опыт 4. Вход усилителя закорочен через сопротивление 77 ом	5
6	К концу кабеля РК-1 подключен скважинный усилитель с приемной антенной	200
7	Скважинный зонд опущен в скважину	80
8	Опыт 7. Экран кабеля заземлен	80
9	В скважину опущен скважинный зонд	80
10	Опыт 9. Рядом со скважинным зондом опущен второй кабель РК-1	80

6. С помощью капронового фала, перекинутого вместе с кабелем через колесо блок-баланса, опускают скважинный зонд в скважину

(при наличии обсадных труб опускают скважинный зонд таким образом, чтобы он был ниже этих труб на 3—5 м).

7. Через определенный интервал (шаг) берут отсчет осевой составляющей H_z уже непосредственно в скважине. Измерения производятся во время остановки скважинного зонда через каждые 2,5—5 м с последующей детализацией в аномальных точках в пределах до 1—2 м. Глубина установки скважинного зонда определяется по меткам, нанесенным на кабеле или капроновом фале. Поскольку изменение амплитуды магнитного поля с глубиной происходит сравнительно медленно, то отпадает необходимость в очень точной установке скважинного зонда на заданной глубине.

8. Обследовав скважину на всю глубину, желательно при подъеме скважинного зонда взять замеры на прежних точках, чтобы убедиться в повторяемости показаний прибора.

9. По образцам керна определяют удельную электрическую проводимость, что даст возможность вычислить коэффициент поглощения данной среды и, следовательно, рассчитать нормальное поле вдоль оси скважины.

Основным документом результатов наблюдений при скважинном варианте метода радиокип является полевой журнал и журнал для вспомогательных вычислений. Полевой журнал должен содержать следующие сведения: участок работ; номер скважины, в которой помещаются скважинные зонды; глубина расположения приемной антенны (скважинного зонда); отсчет напряженности поля; примечание, в котором также указывается глубина отбора керна. Во вспомогательном журнале вычисляются нормальные поля вдоль оси скважины.

Аномальными участками считаются те, на которых графики изменительного поля не совпадают с графиками нормального поля.

Выделение аномального магнитного поля и проведение графиков нормального поля являются одними из самых ответственных операций. Особое внимание здесь следует обратить на правильное вычисление нормального поля вдоль подземной выработки и оси скважины с учетом рельефа. Помимо этого, при выделении аномальных участков необходимо учитывать все сведения о геологическом строении окружающего горную выработку или скважину пространства, а также данные других геофизических методов.

Следует иметь в виду, что аномальное поле проявляется в сравнительно интенсивном изменении формы графиков (наличие максимумов или минимумов и т. п.).

ГЛАВА 5

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

С целью выяснения возможностей разработанных подземных вариантов электроразведочных методов ЕП, БТ, ВП и СДВ-радиокип при решении конкретных геологических задач проводились исследования на Ахталском барит-полиметаллическом, Шамлугском медном, Зодском золоторудном, Кафанском медно-полиметаллическом и Дастакертском медно-молибденовом месторождениях Армянской ССР. Основные задачи при этом сводились к выявлению и прослеживанию рудных тел, а также рудоконтролирующих нарушений, разломов и контактов разнородных пород.

Результаты опробования методов рассматриваются по каждому месторождению в отдельности.

5.1. АХТАЛЬСКОЕ БАРИТ-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Геологическая характеристика месторождения. Структурное положение Ахталского барит-полиметаллического месторождения определяется его нахождением на северо-восточном крыле Алавердской антиклинали. Исследуемый участок месторождения является частью более обширного рудного поля, включающего, помимо Ахталы, Алавердское и Шамлугское месторождения.

Широко развиты крутопадающие разрывные нарушения близмеридионального направления, имеющие, в основном, сбросовый характер, и нарушения близширотного простирания. В результате движений по этим нарушениям участок месторождения был расчленен на отдельные ступенчато расположенные блоки. Самым крупным из этих разрывных нарушений является проходящий в центральной части месторождения сброс, известный под названием «меридионального» разлома.

Главное промышленное полиметаллическое оруденение месторождения приурочено к верхам толщи кварцевых порфиров, к контакту с перекрывающей их толщей порфиритов. Последние сыграли экранирующую роль для рудоносных растворов, поднимающихся с глубин, вызвав локализацию руд у их основания.

Оруденение представлено линзами, гнездами и небольшими залежами неправильной формы с максимальными размерами по падению 350—530 м, по простиранию 80—100 м и мощностью 8—20 м.

На восточном фланге месторождения вдали от контакта, в толще кварцевых порфиров, вскрыто промышленное полиметаллическое оруденение, представленное зоной прожилково-вкрапленных руд.

Вскрыт также ряд небольших размеров серно-колчеданных рудных тел. Расположены они бессистемно, в основном, под полиметаллическими телами на значительной глубине от последних.

Выделяются колчеданная и медно-цинковая разности руд. В ми-

нералогическом составе руд участвуют: пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, борнит; из нерудных минералов: барит, кварц, кальцит, редко гипс. Барит встречается в крупных промышленных скоплениях, образуя штокообразные и линзообразные залежи, слагая всякий бок полиметаллических рудных тел или образуя отдельные самостоятельные залежи.

Для Ахтальского месторождения главными рудоподводящими каналами служили крупные продольные сбросы с сопряженными северо-западными и северо-восточными трещинами нарушений. Формирование разрывных нарушений на Ахтальском месторождении предшествовало процессу рудоотложения. Это обстоятельство и тот факт, что многие другие тела пространственно приурочены к зонам нарушений, свидетельствуют об определенной их роли в локализации оруденения [39].

Электрические свойства горных пород и руд. Электрические свойства пород и руд определялись полевыми и лабораторными наблюдениями.

Поляризуемость η и удельное электрическое сопротивление ρ в лабораторных условиях изучались с использованием станции ВП-59 совместно с предложенной ВИТРОм измерительной установкой по общепринятой методике [68]. В естественном залегании (в подземных горных выработках) для изучения η и ρ использовалась параметрическая установка симметричного профилирования при $AM = MN = NB = 10$ и 15 см. Измерения разности потенциалов осуществлялись с помощью двухканального автокомпенсатора ЭДА-57 [3, 4, 16].

Сравнение результатов показало, что поляризуемость вмещающих пород и руд в естественном залегании характеризуется значениями в 2—5 раз большими, чем при лабораторных определениях; удельное электрическое сопротивление ρ в естественном залегании на 0,5—1,0 порядок меньше, чем при лабораторных измерениях. Причиной этого является нарушение естественной влагонасыщенности, а также недостаточная представительность отобранных образцов [3, 14, 16].

На Ахтальском месторождении существует четкая дифференциация по параметру η между полиметаллическими рудами и вмещающими породами — порфиритами, кварцевыми порфирами. Низкими значениями поляризуемости характеризуются баритовые руды. Неблагоприятным фактором является то обстоятельство, что интенсивно минерализованные или пиритизированные порфириты и кварцевые порфиры вместе с полиметаллическими рудами характеризуются аналогичными пределами изменения поляризуемости. По параметру ρ дифференциация горных пород и руд представлена в несколько ином виде. Сравнительно низкими значениями ρ отличаются полиметаллические руды и измененные кварц-порфиры, поэтому выделение полиметаллической руды в этих породах затруднительно. Удельное электрическое сопротивление на порядок выше имеют кварцевые порфиры и измененные порфириты. Еще более высокими значениями ρ отличаются порфириты и баритовые руды (рис. 5.1).

При постановке метода СДВ-радиокип изучалась зависимость коэффициента поглощения δ от частоты f радиоволн. В основу были положены массовые параметрические измерения в подземных выработках и статистическая обработка полученных результатов наблюдений. Учитывая, что в диапазоне частот до 10^6 — 10^7 гц дисперсия практически отсутствует [125], можно взять за основу расчета коэффициента поглощения данные удельного сопротивления ρ , полученные при параметрических замерах методом сопротивлений на постоянном токе. Таким образом, по значениям удельного электрического сопротивления пород и руд вычислялись коэффициенты поглощения радиоволн δ и строилась графическая зависимость значения δ от f для всего диапазона частот СДВ — 10—30 кгц. Коэффициент поглощения определялся по формуле:

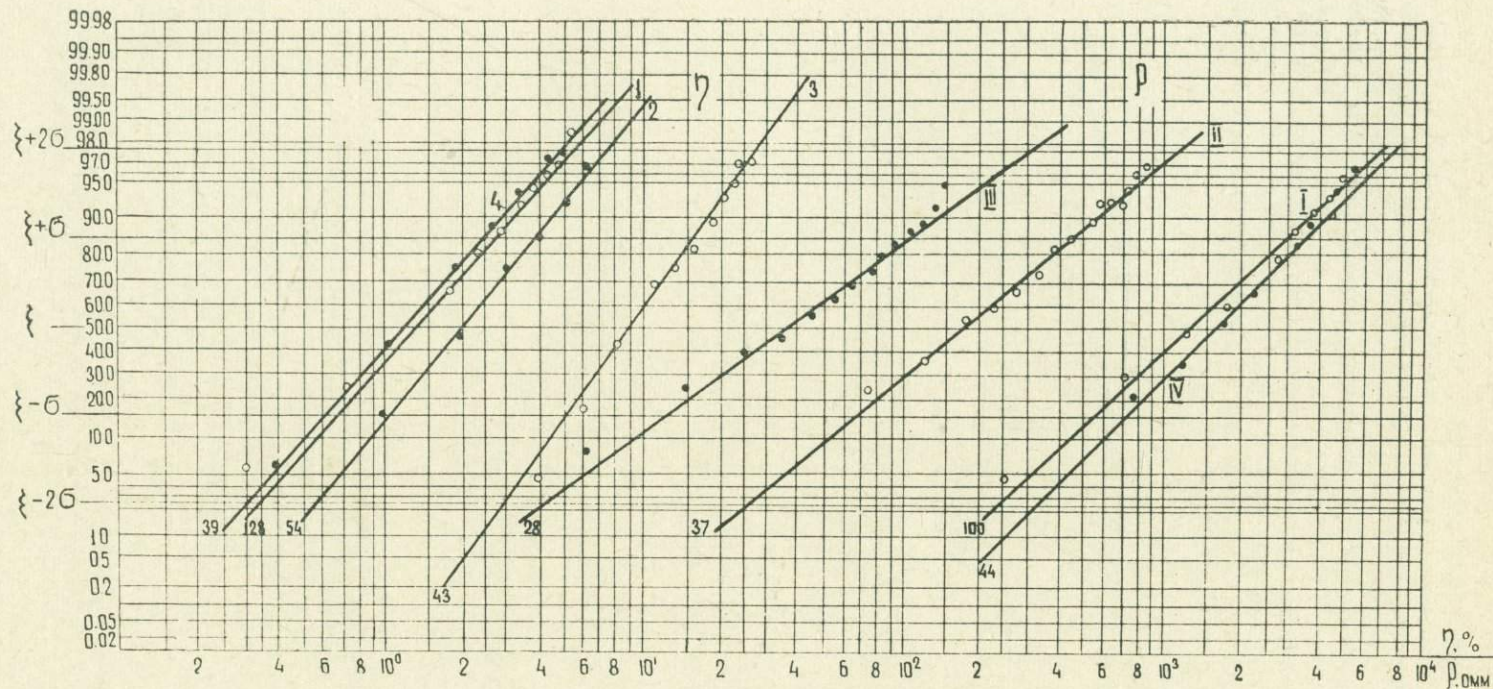


Рис. 5.1. Вероятностные графики накопленных частот поляризуемости и удельного электрического сопротивления по данным параметрических измерений. Ахталское барит-полиметаллическое месторождение.

1, I—порфиры; 2, II—кварцевые порфиры; 3, III—полиметаллические руды; 4, IV—баритовые руды.

$$\delta \equiv 2\pi \sqrt{\frac{30}{\rho \lambda_0}}$$

Помимо этого, при благоприятных условиях и однородных породах коэффициент поглощения определялся экспериментально. В этом случае проводятся измерения напряженности поля как на поверхности земли, так и на глубине.

Графики зависимости коэффициента поглощения δ от частоты f для диапазона частот 10—30 кгц приведены на рис. 5.2. Различие в значениях удельных сопротивлений и коэффициентов поглощения между вмещающими породами (порфиритами) и рудной зоной дает возможность выявить рудные объекты с помощью радиоволновых методов и, в частности, методом СДВ-радиокип.

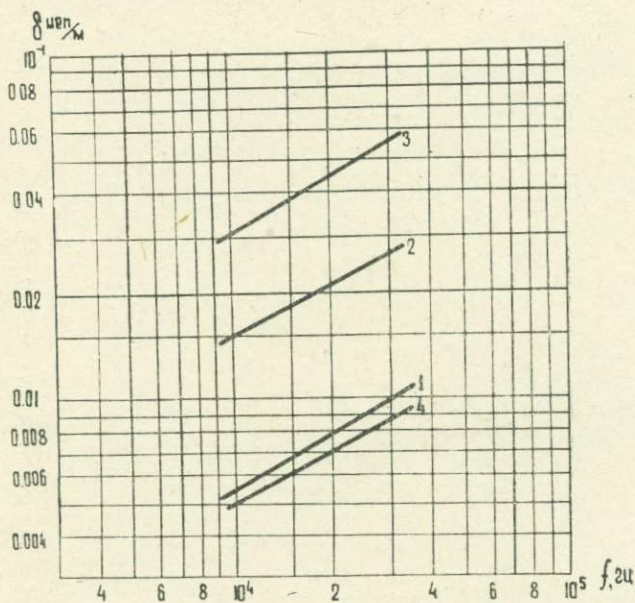


Рис. 5.2. Зависимость коэффициента поглощения радиоволн δ от частоты f для пород и руд Ахтальского месторождения.

1 — порфириты; 2 — кварцевые порфиры; 3 — полиметаллическая руда; 4 — баритовая руда.

По значениям коэффициента поглощения вмещающих пород установлено, что при рабочей частоте 15 кгц для Ахтальского месторождения на глубине около 300 м нормальное поле составит в среднем $\frac{1}{10}$ напряженности поля в воздухе H_{po} .

Исходя из режима работы, а также учитывая значение напряженности поля в воздухе и принимая во внимание уровень поля радиосигнала на соответствующей глубине, для наших целей были использованы радиоволны английской радиостанции с позывной GBR, расположенной вблизи г. Регби (Rugby). Эта радиостанция работает на частоте 16 кгц (длина волны в воздухе $\lambda_0 = 18750$ м).

Первый этап работы заключался в изучении вариации напряженности поля радиостанции, работающей на частоте 16 кгц, в течение дня на контрольном пункте.

Помимо этого, с целью выяснения уровня радиосигнала на глубине проводилось измерение поля в штольне на разных горизонтах, в сред-

нем на глубине 300—350 м. Причем глубина до горизонта выработки при наклонной плоскости раздела земля—воздух определялась по нормали к плоскости раздела. Величина поля на этих глубинах составляла 15—20% от наблюдаемого на поверхности земли.

Изучение вариации поля радиостанции позволило установить наиболее благоприятное время проведения исследований методом СДВ-радиокип.

Выявление и прослеживание полиметаллических рудных тел. В районе штрека 1 горизонта штольни 7 (рис. 5.3) детальными геологическими работами была прослежена рудная линза, имеющая пологое залегание. Кривые η_k и H_v , полученные методами ВП и СДВ-радиокип, характеризуются повышенными значениями в районе обнажения линзы. Величина потенциала ЕП в районе обнажения верхней части линзы составляет 290 мв, что соответствует теории (глава 1).

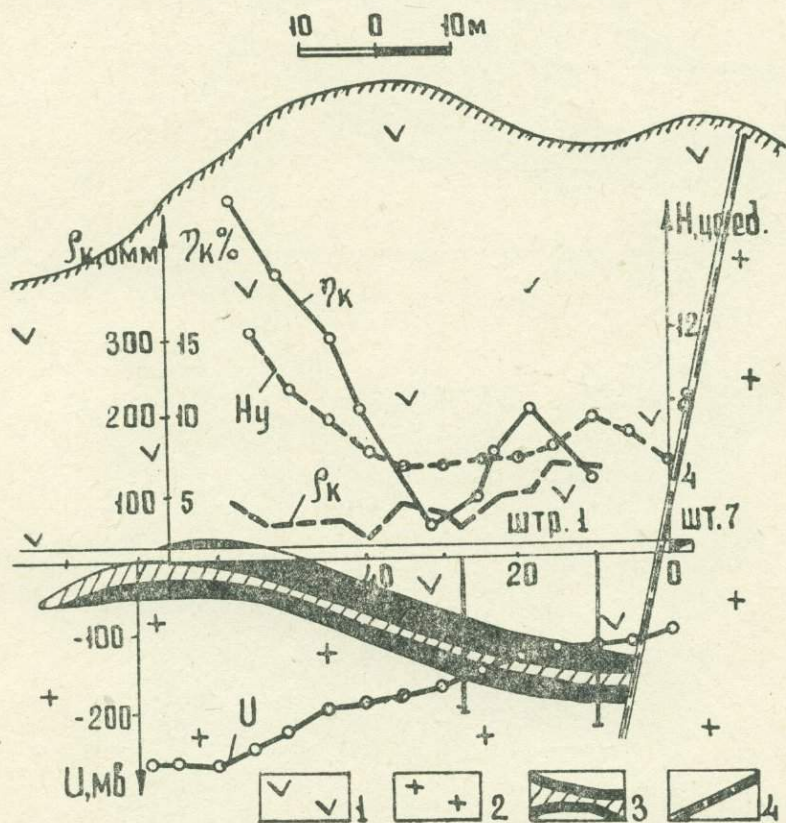


Рис. 5.3. Геологический разрез по штреку 1 горизонта штольни 7 Ахталского месторождения и кривые η_k , H_y , U .

1—порфириты; 2—кварц-порфиры; 3—барит-полиметаллическая руда; 4—тектоническое нарушение.

С целью определения характера электромагнитного поля в районе рудного объекта, залегающего ниже горизонта наблюдения, была проведена съемка горизонтальной составляющей H_p в штреке 3 (рис. 5.4). Помимо кривой H_p на рисунке представлена также кривая нормального поля H_n , вычисленная для вмещающих пород — порфиритов, коэффициент поглощения которых для частоты 16 кгц составляет 0,007 неп/м. Наиболее резкое возмущение поля H_p отмечается в районе пикетов 20—

30. Выявленная здесь аномалия с максимальным значением H_p , как было показано в главе 4, соответствует рудному объекту, залегающему ниже выработки. В данном случае эта аномалия может быть приурочена к полиметаллическому оруденению.

Минимальное значение напряженности поля H_p от пикета 0 до пикета 15, по-видимому, можно объяснить влиянием верхней части известного на месторождении меридионального разлома, который представляет собой проводящий объект, расположенный выше выработки.

По той же выработке проводились наблюдения методами электромагнитного профилирования (с аппаратурой АРШ-1) и ЕП.

Кривая напряженности H , полученная при разносе передатчик—приемник 30 м, шаге 5 м и рабочей частоте 1,0 Мгц, имеет максимум над рудным объектом.

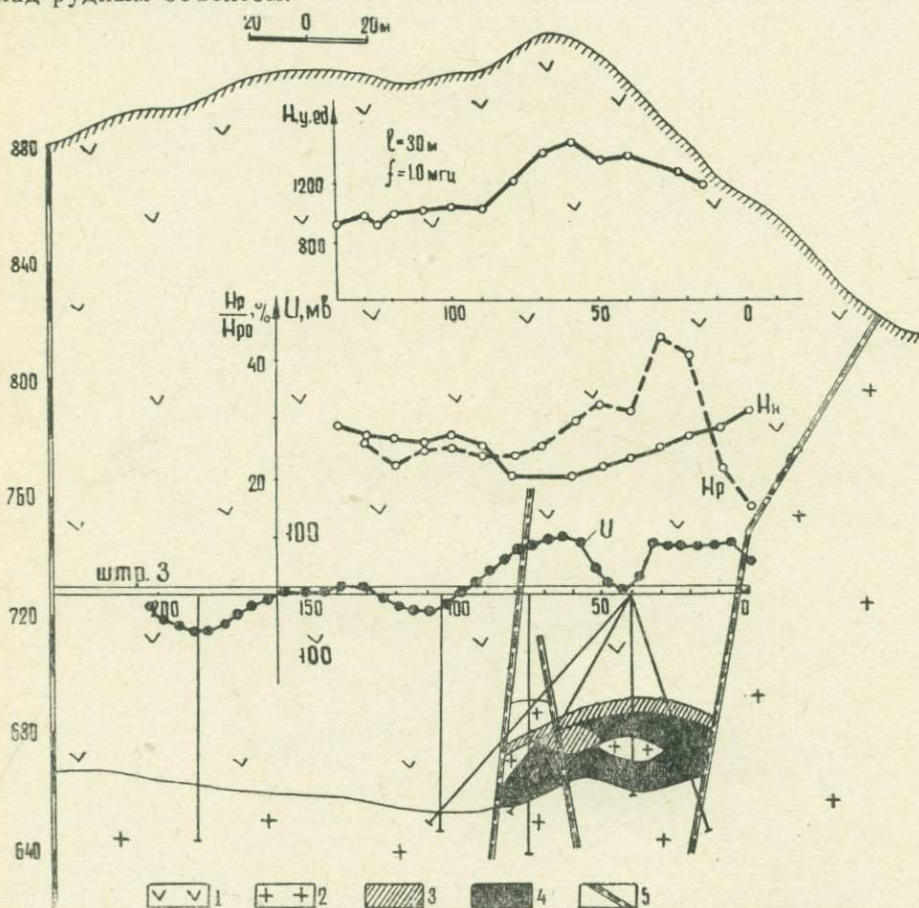


Рис. 5.4. Геологический разрез по штреку 3 горизонта штольни 7 Ахталского месторождения и кривые электромагнитного профилирования (H), напряженности магнитного поля метода СДВ-радиокип (H_p , H_n) и потенциала естественного поля (U).

1—порфириты; 2—кварц-порфиры; 3—баритовая руда; 4—полиметаллическая руда; 5—тектонические нарушения.

Над рудной линзой естественное поле характеризуется положительным потенциалом U величиной 70—90 мв. Знак аномалии указывает на то, что штрек 3 пройден над средней частью рудной линзы. Локальные отклонения кривой U в интервалах пикетов 30—50, 100—120 и

170—190 вызваны вертикальными скважинами, заполненными водным раствором и обсаженными трубами (см. главу 1).

На рис. 5.5 представлены результаты геофизических наблюдений методами ВП (срединный градиент, $AB=240$ м, $MN=10$ м), СДВ-радиокип и ЕП, полученные в штреке 9 горизонта штольни 7. Штрек 9 проходит над средней частью рудной линзы на расстоянии от 30 до 130 м и своим устьем приближается к другой рудной линзе, залегающей выше горизонта наблюдения на 5—10 м. Вмещающими породами здесь являются порфириты и кварцевые порфиры.

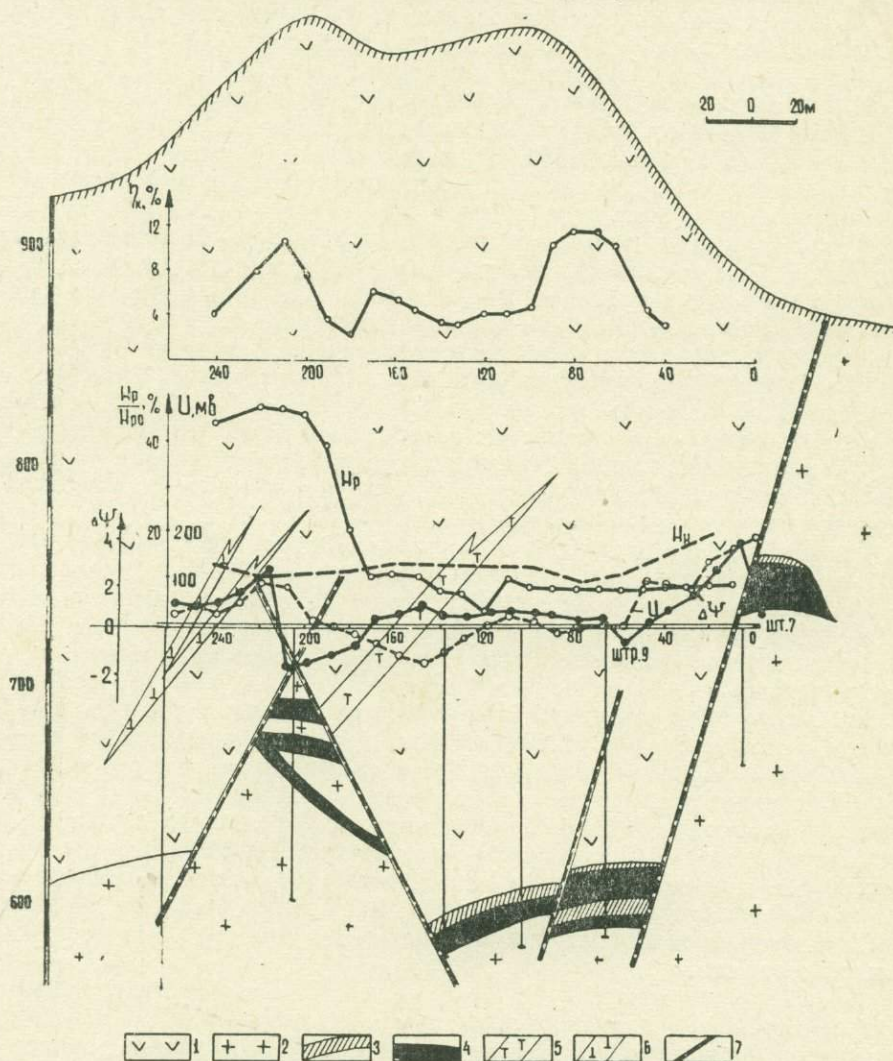


Рис. 5.5. Геологический разрез по штреку 9 горизонта штольни 7 Ахталского месторождения и кривые γ_k (ВП), H_p , H_n (СДВ-радиокип), U (ЕП) и $\Delta\psi$ (БТ). 1—порфириты; 2—кварцевые порфиры; 3—баритовая руда; 4—полиметаллическая руда; 5—дайки фельзит-порфиров; 6—дайки диабазовых порфиров; 7—тектонические нарушения.

Вдоль выработки методом СДВ-радиокип изучалось поле радиостанции, направление на которую составляло с простираем жилы угол около 30° . Следует отметить, что в данном штреке совершенно отсутствовали какие-либо искусственные проводники. Кривая напряжен-

ности горизонтальной составляющей поля H_p характеризуется максимумом (пк 180—220) и двумя минимумами (пк 120—140 и пк 0—40). Максимум H_p , безусловно, связан с проводящим объектом, залегающим ниже выработки. Расхождение наблюдаемой кривой H_p и расчетной (нормальной) кривой в районе пикетов 120—140 и 0—40 соответствует теоретической кривой H_p для случая проводящего объекта, расположенного выше горизонта наблюдений. Заметим, что из-за ограниченной протяженности штрека 9 не было возможным измерить поле СДВ под рудным телом и правее его.

Кривая потенциала естественного поля U характеризуется положительной аномалией до 200 мв в интервале пикетов 0—50. Аномалия искажена влиянием 1 западного нарушения (рис. 5.9). Положительная аномалия с максимальным значением потенциала получена в интервале пикетов 200—240. Знак аномалии указывает на то, что горная выработка пройдена над средней или нижней частью рудных тел. Дайка фельзит-порфиров на кривой ЕП отмечается отрицательной аномалией с потенциалом до 30 мв.

Кривая отношения приращений разностей потенциалов блуждающих токов $\Delta\psi$ характеризуется тремя аномалиями, полученными вблизи рудных тел (интервалы пк 0—30 и 200—220) и над первым западным нарушением. Источником блуждающих токов служила транспортная штольня, расположенная ниже горизонта наблюдения на 85 м.

На кривой η_k выделяются три аномалии различной интенсивности (от 6 до 13%) в интервале пикетов 60—90, 150—170, 200—230, первая из которых вызвана тектонически ослабленной зоной в районе нарушения (1 западное), вторая соответствует фельзит-порфировой дайке, а третья с интенсивностью свыше 10% отвечает неглубоко залегающим рудным телам.

На рис. 5.6 представлены геологический разрез и кривые η_k , H и ρ_k , полученные методами ВП, электромагнитного профилирования и сопротивлений. В геологическом разрезе штрека 54 участвуют порфиры и кварц-порфиры, разделяемые тектоническими нарушениями. В районе контакта этих пород ранее было вскрыто полиметаллическое рудное тело мощностью 3—4 м. Исследования методом ВП сначала были проведены установкой симметричного профилирования с разносами АВ—120 м. В силу сложного тектонического строения и наличия многочисленных зон сульфидной минерализации график η_k по штреку имеет изрезанный характер. Но три наиболее интенсивные аномалии, где значение η_k превышало 10%, выделялись вполне четко. Одна из них (в правой части приведенного разреза) соответствовала упомянутому оруденению, две другие подлежали дальнейшему изучению. В центре этих аномалий, на пикетах 240 и 380 штрека 54, были выполнены зондирования, подтверждающие существование электроннопроводящих тел рядом со штреком.

В районе пикетов 220—300 наблюдается сходимость аномалии метода электромагнитного профилирования с данными ВП. Работы проводились аппаратурой АРШ-1 на частоте $f=0,45$ Мгц при разnose передатчик — приемник 80 м.

Для проверки аномалий были рекомендованы скважины 330 и 334. Первая скважина в интервале 20—45,5 м пересекла зону интенсивной пиритизации, а в интервале 45,0—45,5 м — прожилково-вкрапленное полиметаллическое оруденение с промышленным содержанием металлов. Вторая скважина в интервале 33,4—40,4 м встретила зону интенсивной сульфидной минерализации с пиритом, халькопиритом, галенитом и сфалеритом. В некоторых участках зоны содержание металлов достигало промышленных кондиций, что послужило основанием для дальнейшего развития геологоразведочных работ на этом месторождении.

На рис. 5.7 приведены результаты работ методом ВП по схеме трехэлектродного зондирования по штрекам горизонта штольни 7. Трехэлектродное зондирование в данном случае было выбрано, исходя из ограниченных размеров подземных выработок. При этом электрод B_{∞} был вынесен по штольне 7 на дневную поверхность, а наблюдения проводились в штреках. Геологический разрез построен по точкам наблюдений трехэлектродного зондирования, расположенным соответ-

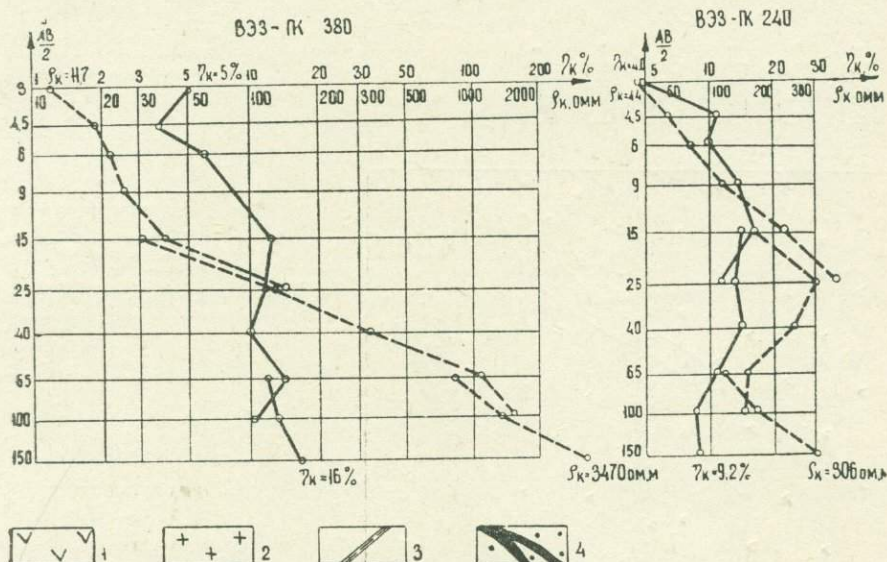
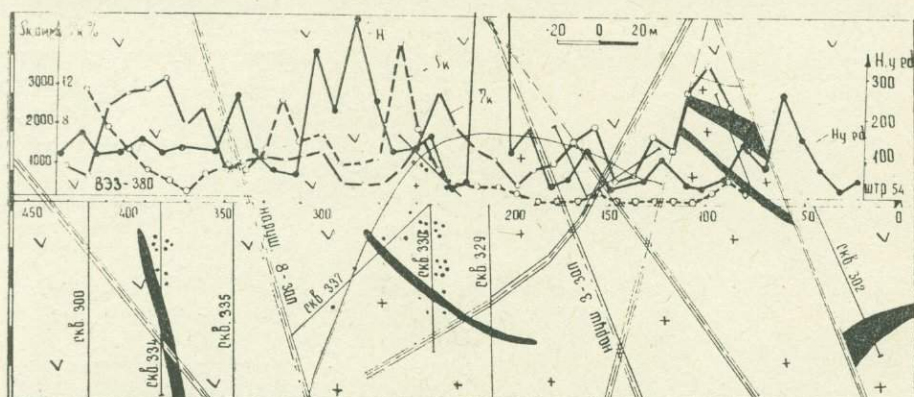


Рис. 5.6. Геологический разрез по штреку 54 горизонта штольни 16 Ахталыского месторождения и кривые ρ_k (ВП), H (электромагнитное профилирование) и ρ_k (метод сопротивлений).

1—порфириты; 2—кварц-порфиры; 3—тектонические нарушения; 4—полиметаллические руды с сульфидной минерализацией.

ственно в штреках 1, 2, 3, 4, 9, 15, 17 и совпадающим с направлением падения линзы 11. По кривым трехэлектродного зондирования ПЭЗ-ВП отмечается определенная закономерность прослеживания рудной линзы 11 по направлению от штрека 1, где линза обнажается, до штрека 17; глубина ее залегания превышает 100 м. При этом рудная линза 11 фиксируется на полуразносах $AO > 6$ м (штр. 1) и $AO = 25$ м (штр. 1а, 2 и 3). На следующих кривых ПЭЗ-ВП линза 11 не отмечается. Одна-

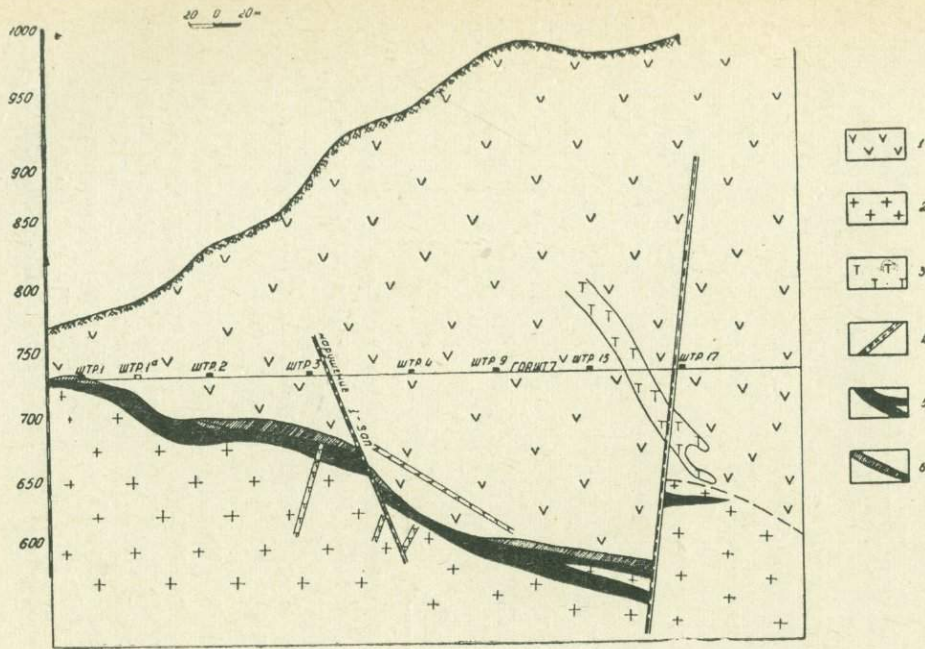
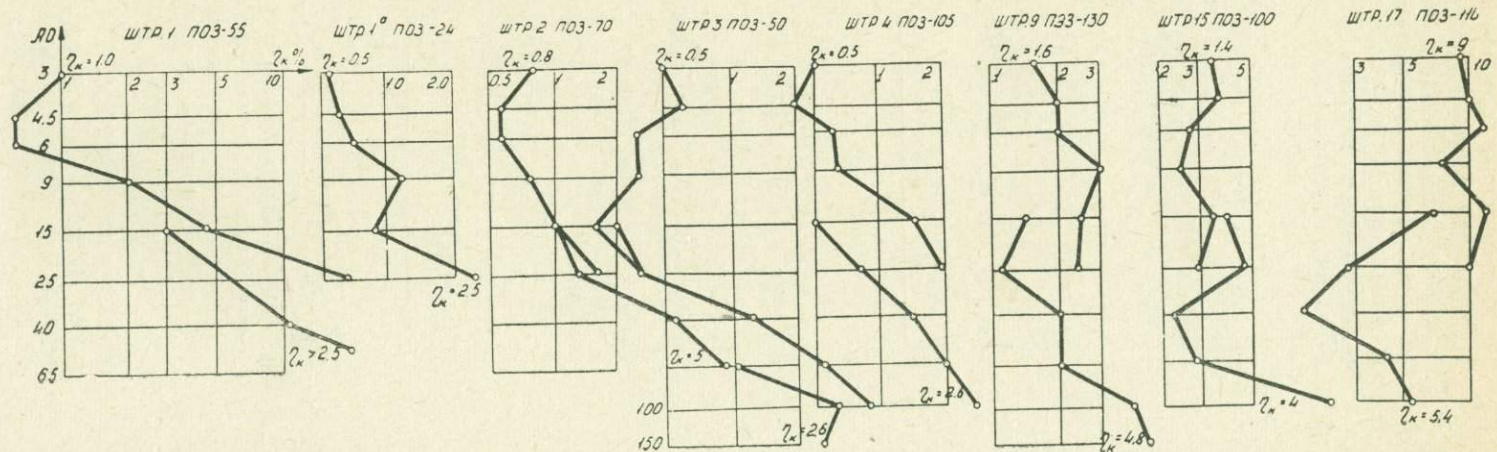


Рис. 5.7. Геологический разрез по падению линзы 11 Ахталынского месторождения и кривые зондирования методом ВП. 1—порфириты; 2—кварцевые порфиры; 3—дайки фельзит-порфиров; 4—тектонические нарушения; 5—полиметаллическая руда; 6—баритовая руда.



ко по последним трем кривым при больших разносах $AO=100$ м прослеживается другая линза 10, расположенная рядом, верхняя кромка которой залегает ниже относительно горизонта штольни 7.

Прослеживание тектонических нарушений, даек и контактов разнородных пород. Результаты измерений горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля H_p , полученные вдоль штольни 29, приведены на рис. 5.8. В пределах указанного профиля наблюдений отсутствуют какие-либо рудные тела. Однако данная штольня представляет интерес с точки зрения выяснения возможности метода при установлении контакта разнородных пород — кварцевых порфиров с порфиритами.

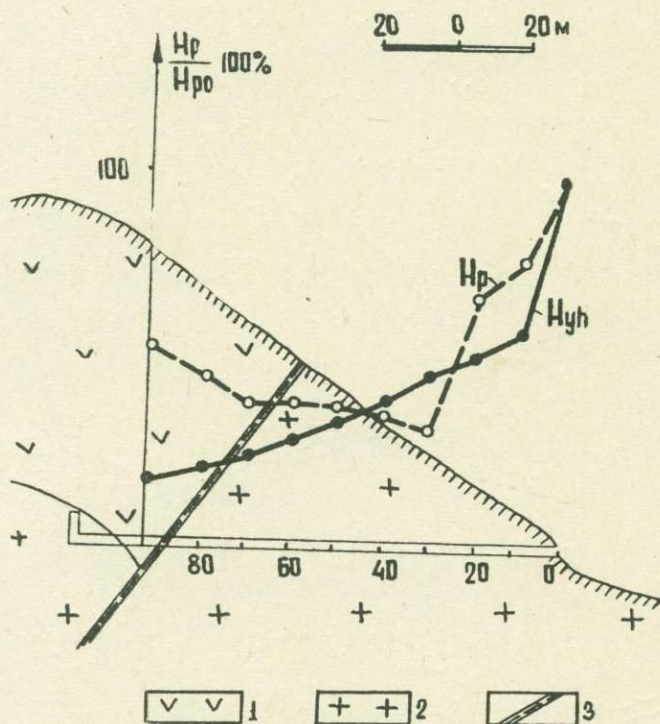


Рис. 5.8. Геологический разрез и кривая напряженности магнитного поля H_p метода СДВ-радиокип вдоль штольни 29 Ахтальского месторождения. Частота 16 кГц.
1—порфиристы; 2—кварцевые порфиры; 3—контакт пород.

При обработке полученных результатов наблюдений была построена кривая нормального поля горизонтальной составляющей магнитного поля H_{yh} (H_n). Вычисление H_{yh} проводилось с помощью формулы (4.17) с учетом угла наклона местности Ψ .

Коэффициент поглощения δ для порфиристов составляет 0,007 неп/м, а для кварцевых порфиров — 0,018 неп/м. Именно это различие в коэффициентах поглощения дает возможность выявить контакт между породами.

Как видно из рис. 5.8, значение нормального поля H_{yh} с увеличением мощности перекрывающих пород постепенно уменьшается, что объясняется поглощением радиоволн. Кривая горизонтальной составляющей H_p до пикета 30 резко падает, а затем постепенно отходит от кривой нормального поля. За контактом в кварцевых порфирах наблюдается совпадение кривой H_p с кривой нормального поля H_{yh} , вычислен-

ного для кварцевых порфиров. На пикетах 60—80 напряженность поля увеличивается, что связано, безусловно, с порфиритами, имеющими меньшее значение коэффициента поглощения по сравнению с кварцевыми порфирами. Следует отметить, что угол между простиранием кон-

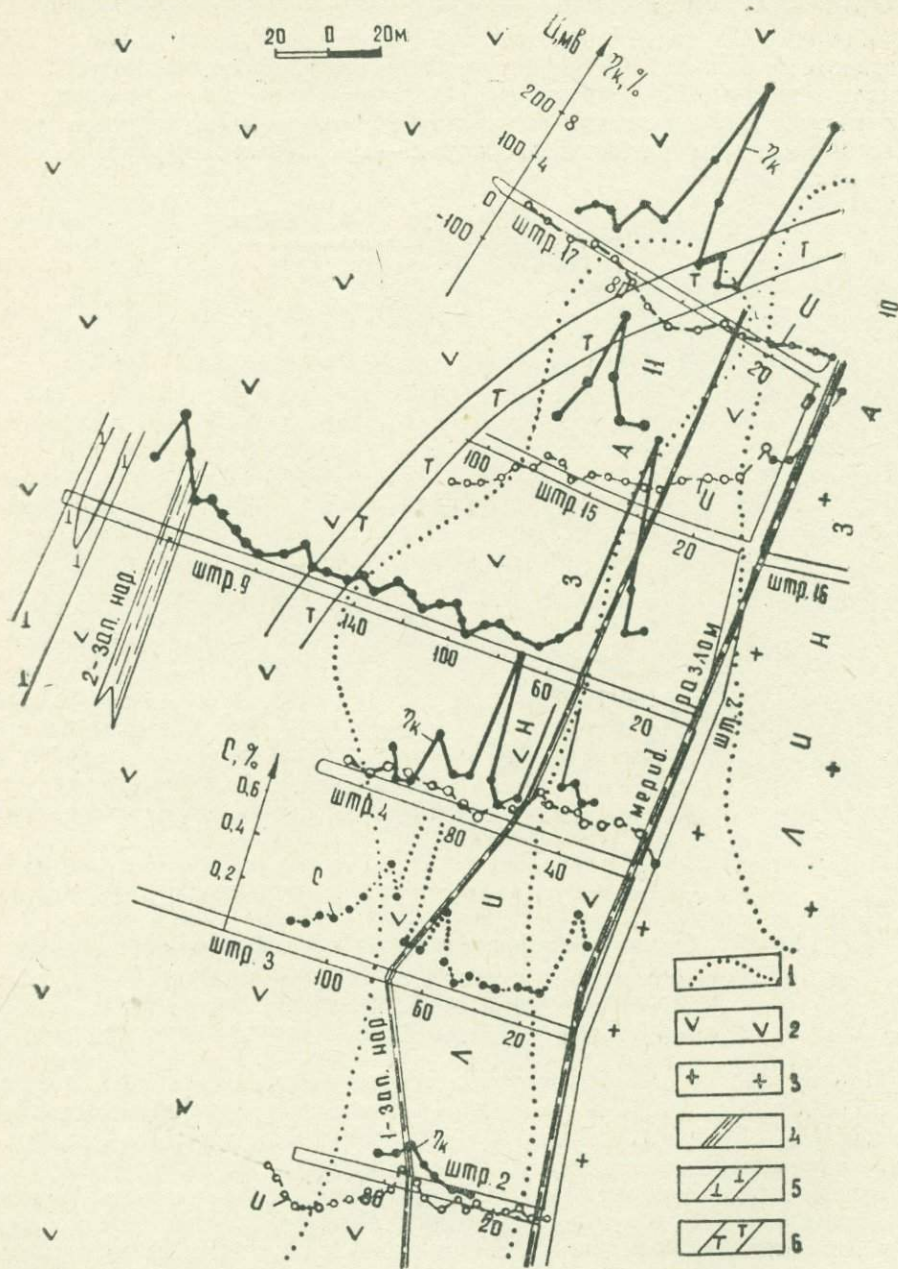


Рис. 5.9. Геологический план горизонта штольни 7 Ахталынского месторождения и графики γ_k (ВП), U (ЕП) и C (суммарная концентрация элементов индикаторов).

1—контуры полиметаллических рудных линз 10 и 11; 2—порфириты; 3—кварц-порфиры; 4—тектонические нарушения; 5—дайка диорит-порфиров; 6—дайка фельзит-порфиров.

такта разнородных пород и направлением на радиостанцию составлял 15° , что обеспечило достаточный аномальный эффект.

В условиях Ахталского месторождения многие рудные тела пространственно приурочены к зонам этих нарушений, что свидетельствует об определенной их роли в локализации оруденения [80]. В связи с этим практический интерес представляет рис. 5.9, подтверждающий возможности методов вызванной поляризации и естественного поля для выделения рудоконтролирующих нарушений и минерализованных даек.

Геохимические исследования показали, что сравнительно высокие содержания элементов-индикаторов отмечаются над тектоническими нарушениями. Последнее объясняет причины узколокальных интенсивных аномалий кажущейся поляризуемости по штрекам 1, 2, 3, 4, 9, 15 и 17, соответствующих, в основном, местонахождению 1 западного нарушения. Наличие пиритизации и элементов-индикаторов в зоне 2-го западного нарушения отвечает четкий максимум η_k (пк 220, штр. 9).

Кривые естественного поля, полученные по штрекам 2, 4, 15 и 17, характеризуются аномалиями разного знака, связанными с рудными линзами 10 и 11, тектоническими нарушениями и дайками.

В штреке 2 отрицательная аномалия с величиной потенциала -90 мв получена в интервале пикетов 10—60. Расположение аномалии, вероятно, связано с тем обстоятельством, что рудная линза 11 на рассмотренном участке расчленена на блоки разломами: 1 западным и меридиональным. Рудный блок, ограниченный указанными тектоническими нарушениями, находится на глубине 34 м от горизонта штольни 7, а блок, расположенный к западу от 1 западного нарушения, — на глубине 65 м.

Штрек 4 проходит над средней частью линзы 11, выше нее на 100 м, и своим устьем приближается к верхней части линзы 10. Кривая естественного поля, полученная по штреку 4, характеризуется положительной аномалией со значениями потенциала 50—80 мв, которые резко снижаются к устью, что связано с влиянием верхней части линзы 10.

Интенсивная положительная аномалия со значением потенциала 400 мв получена в штреках 15 и 16, проходящих над нижней частью линзы 10 и выше нее на 20 м. С удалением от линзы потенциал уменьшается.

Положительная аномалия с невысокими значениями потенциала (60 мв) наблюдается в интервале 0—20 м штрека 17, проходящего над нижней частью линзы 10 и выше нее на 90 м.

Локальные аномалии потенциала ЕП получены также в районе минерализованной фельзит-порфировой дайки (интервалы пк 140—160 штрека 9 — рис. 5.6, интервалы пк 100—120 и 60—80 штреков 15 и 17 — рис. 5.9), тектонических нарушений и разломов, которые указывают на возможность метода ЕП при прослеживании рудоконтролирующих разломов и даек.

Выявление нарушений, особенно не вскрытых горными выработками, и определение их дорудного возраста являются косвенными признаками для обнаружения и прослеживания рудного тела в глубину.

5.2. ШАМЛУГСКОЕ МЕДНОКОЛЧЕДАННОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Геологическая характеристика месторождения. Район месторождения сложен вулканогенными отложениями среднеюрского возраста, которые в нижней части представлены порфиритами. Самый верхний горизонт месторождения представлен кератофитами, туфами и туфобрекчиями, являющимися основными рудовмещающими породами. Мощность рудоносного горизонта составляет 100—110 м.

На рудном участке широко развита тектоника, связанная с образованием Алавердской антиклинали и с оседанием интрузии при остывании. Различные формы проявления дизъюнктивной тектоники на участке месторождения грубо подразделяются на две группы: дорудные и пострудные нарушения.

Рудные тела на месторождении залегают на глубине от 10 до 350 м. На верхних горизонтах они представлены штоками, линзами и гнездами, а на нижних горизонтах, в толще порфириров и туфобрекчий, — жилами и штокверковыми зонами, приуроченными к дорудным широтным нарушениям. Жилы, как правило, имеют отчетливый контакт висячем боку и постепенный переход в измененную породу в лежащем боку. Прослеживаются они по простиранию от десятков до сотен метров при мощности от нескольких сантиметров до 4 м. Углы падения колеблются в пределах 40—60° и выносятся с глубиной до 30°. Наряду с рудными телами с медным оруденением встречаются полиметаллические и серноколчеданные штоки.

По характеру руд, их структурным особенностям и минералогическому составу все тела на месторождении разделяются на три группы: медно-серно-колчеданные, полиметаллические и серноколчеданные.

В медно-серно-колчеданных рудах типичными минералами являются пирит, халькопирит, из нерудных — кварц, хлорит и карбонаты. Для полиметаллических руд наиболее распространенными минералами являются сфалерит, в незначительных количествах галенит, из нерудных — барит, а в серноколчеданных — пирит и кварц.

Электрические свойства горных пород и руд. Медноколчеданные рудные зоны месторождения обладают довольно низким сопротивлением (порядка 20 ом·м), что дает возможность выявить их среди вмещающих пород — туфобрекчий порфириров, обладающих значительно высоким сопротивлением (200—4000 ом·м). Кроме того, руды характеризуются высокой поляризуемостью (10—35%) и отличаются от вмещающих пород по параметру η на 0,5—1 порядок (рис. 5.10). Рудные зоны имеют довольно высокий коэффициент поглощения радиоволн по сравнению с вмещающими породами. На рис. 5.11 приведены графики зависимостей коэффициента поглощения δ от частоты f для основного комплекса пород и руд месторождения.

Четкая дифференциация пород и руд по указанным параметрам служит благоприятным условием для применения разработанных подземных методов электроразведки с целью решения геологических задач.

Выявление и прослеживание медноколчеданных рудных тел. На рис. 5.12 представлены геологический разрез участка Шамлугского месторождения и результаты геофизических наблюдений методами ЕП и ВП. Наблюдения методом ЕП проводились как на поверхности земли, так и в штольнях «Вентиляционная», 34 и в квершлага 134 горизонта штольни 1. Над рудной жилой в штольне «Вентиляционная» получена отрицательная аномалия потенциала ЕП (интервал пк 40—90) с интенсивностью потенциала до —600 мв. Такая же аномалия с экстремальным значением —600 мв получена и в интервале пикетов 90—130 наземного профиля. Аномалии совпадают с местоположением жилы 14. В интервале пикетов 105—135 штольни 34, где она пересекает среднюю часть рудной жилы 14, отмечается положительная аномалия с максимальным значением потенциала 100 мв. Аномалия с отрицательным потенциалом —200 мв (пк 10—50 штольни 34) наблюдается в районе рудных жил, имеющих небольшие размеры и расположенных ниже горизонта наблюдения. Над указанными жилами выявлена отрицательная аномалия со значениями потенциала —40 — —100 мв (пк 20—40 наземного профиля).

Горизонт штольни 1 пересекает нижнюю часть жилы 14. На ука-

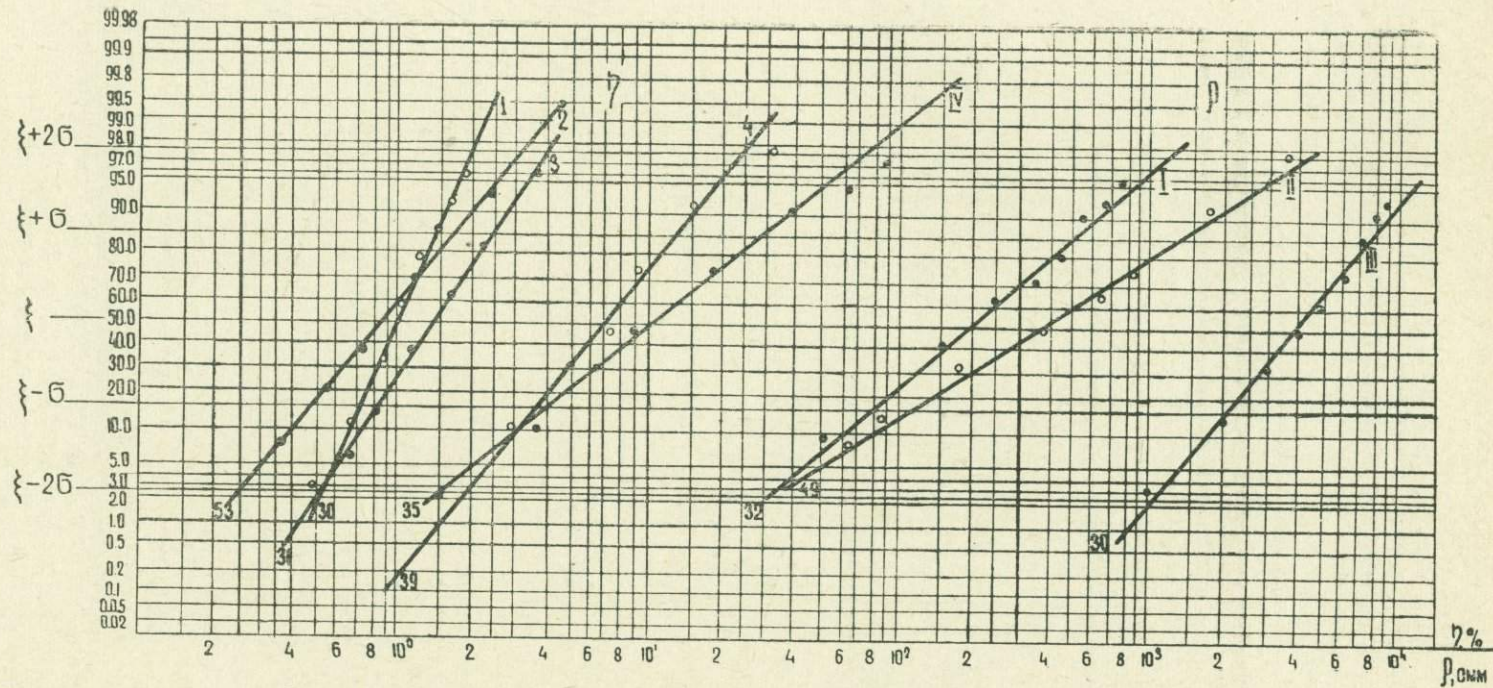


Рис. 5.10. Вероятностные графики накопленных частот поляризуемости и удельного электрического сопротивления по данным параметрических измерений. Шамлуговое медноколчеданное месторождение.
 1, I—порфириты; 2, II—туфобрекчии порфиритов; 3, III—кварцевые альбитофиры; 4, IV—медноколчеданные руды.

занном горизонте исследования методом естественного поля проводились в штреке 134. Кривая потенциала ЕП здесь характеризуется положительными аномалиями (пк 0—60 и 100—150). Первая из указанных аномалий, соответствующая жиле 14, имеет высокие значения потенциала (до 510 мв). Вторая аномалия, полученная в интервале пикетов 100—150, с небольшой интенсивностью (120 мв) территориально соответствует расположению рудных жил, пересекаемых горной выработкой на пикетах 113 и 135.

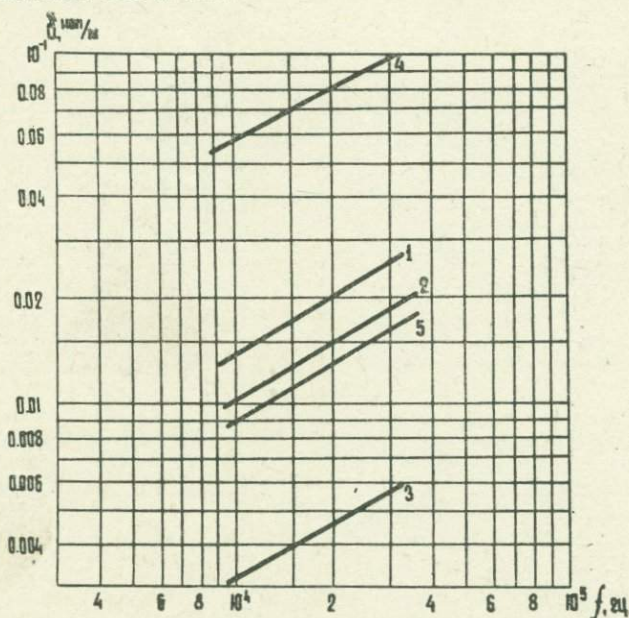


Рис. 5.11. Зависимость коэффициента поглощения радиоволн Q от частоты f для пород и руд Шамлугского медного месторождения

1—порфириты; 2—туфобрекчии; 3—кварцевые альбитофиры и туфобрекчии порфиритов; 4—медноколчеданная руда; 5—кратофиры и туфопесчаники.

Наблюдения методом ВП в штольнях «Вентиляционная» и 34 проводились установкой срединного градиента. Питающие электроды располагались в районе рудной жилы 14 (выше горизонта «Вентиляционной» штольни) и у устья штольни 34. Наблюдения велись по штольням при $MN=10$ м. По обоим штольням наблюдаются интенсивные аномалии η_k , которые между собой увязываются и территориально соответствуют рудной жиле и минерализованной диабазовой дайке.

На рис. 5.13 представлены результаты наблюдений методами вызванной поляризации и сопротивлений, проведенных по квершлагу 1933 горизонта штольни 40.

Наблюдения по квершлагу 1933 с установкой срединного градиента позволили по кривым η_k и ρ_k четко выделить контакт туфобрекчий порфиритов и пересеченной выработкой дайки кварцевых альбитофириров. Вместе с тем, повышенные значения η_k в районе контакта свидетельствуют о наличии в нем богатой сульфидной минерализации в виде медноколчеданных жил. В связи с этим с целью проверки аномалии из квершлага 1933 были пробурены две скважины, № 507 и 511, соответственно с каждой стороны дайки кварцевых альбитофириров, которые

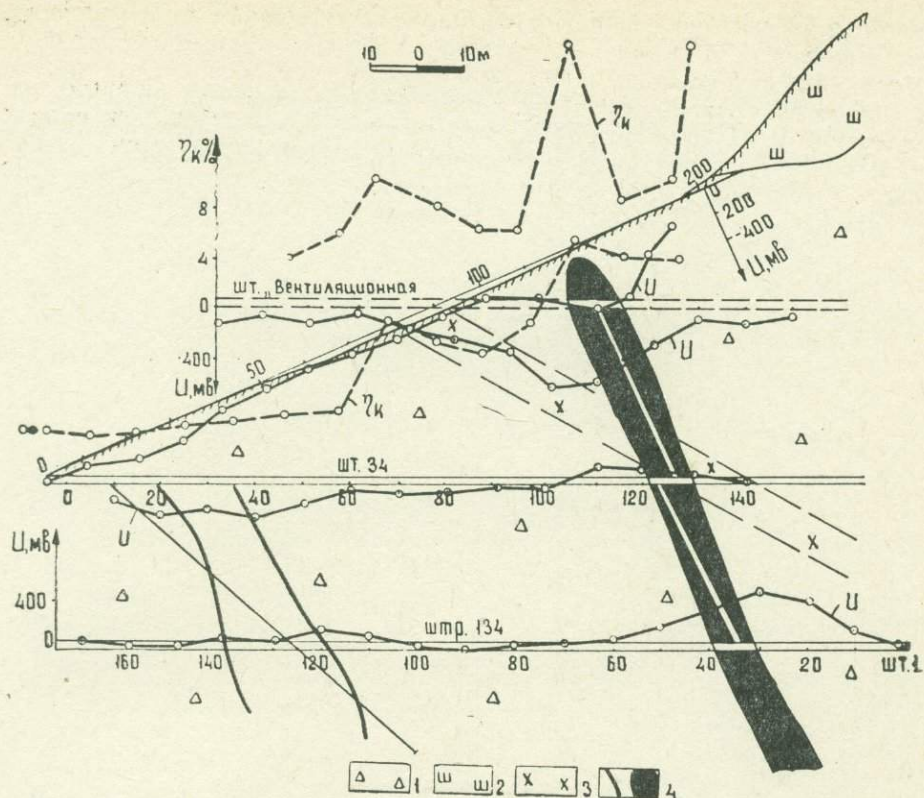


Рис. 5.12. Геологический разрез по падению жилы 14 Шамлугоского месторождения и кривые γ_k (ВП) и U (ЕП).

1—туфобрекчии порфиров; 2—кератофиры; 3—диабазовая дайка; 4—медноколчеданные жилы.

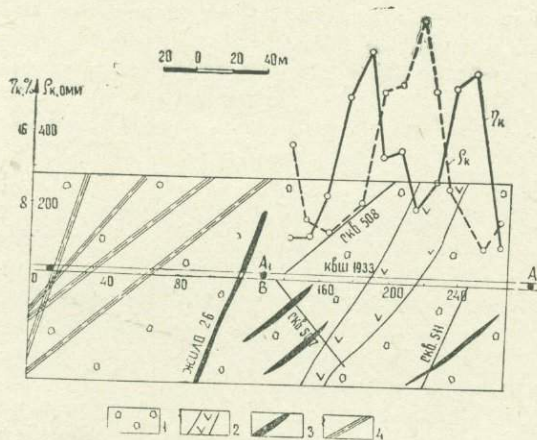


Рис. 5.13. Геологический разрез по квершлагу 1933 горизонта штольни 40 Шамлугоского месторождения и кривые γ_k (ВП) и ρ_k (электрическое сопротивление).

1—туфобрекчии порфиров; 2—кварцевые альбитофиры; 3—медноколчеданные жилы; 4—тектонические нарушения.

вскрыли серию рудных пересечений с зонами интенсивной минерализации. Максимальное содержание отдельных металлов достигало: Cu —14, Pb —2,2, Zn —16,2%.

Для выявления и прослеживания медноколчеданных рудных тел наблюдения методом ВП и электромагнитного профилирования проводились по квершлагам 1619 и 1899 горизонта штольни 40 (рис. 5.14).

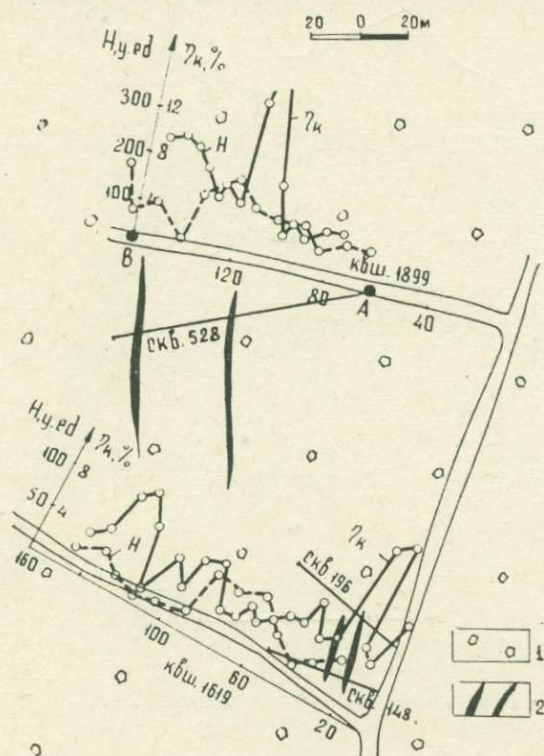


Рис. 5.14. Геологический план участка горизонта штольни 40 Шамлугского месторождения и кривые γ_k (ВП) и H (электромагнитное профилирование).

1—туфобрекчии порфириров; 2—медноколчеданные рудные тела.

По квершлагу 1899 выявлен аномальный участок в интервале пикетов 110—160. Аномальные участки наблюдаются также по квершлагу 1619 (пк 0—40 и 120—140). Аномалии по квершлагам 1899 и 1619 (пк 120—140) были связаны с неизвестными рудными объектами, а аномалия в интервале пикетов 0—40 квершлага 1619 — с известными рудными жилами, протяженность которых не была установлена. Заданные скважины № 496 и 528 вскрыли рудные тела.

На рис. 5.15 представлены геологический разрез по штольне «Верхняя транспортная» и кривая отношений приращений разностей потенциалов блуждающих токов. Наблюдения блуждающих токов здесь проводились четырехэлектродной потенциальной установкой при наличии многочисленных сложных, неравномерно расположенных источников поля. Полученная кривая метода БТ характеризуется непостоянной величиной $\Delta\Phi$. Вместе с тем, в пределах всех рудных объектов отмечаются интенсивные аномалии, выделяющиеся на общем фоне (интерва-

электрическое сопротивление пород в интервале 30—80 м изменяется от 100 до 500 ом·м. График кажущегося сопротивления ρ_k в сопоставлении с кривой эффективного сопротивления $\rho_{эфф}$, вычисленного по данным метода СДВ-радиокип, приводится на том же рисунке. Сравнив экспериментальную кривую магнитного поля СДВ с расчетной кривой нормального поля для туфопесчаников и кривые $\rho_{эфф}$ и ρ_k , устанавливаем, что на глубине около 30 м сопротивление $\rho_{эфф}$ туфопесчаников уменьшается и составляет в среднем 100 ом·м. Далее с глубиной $\rho_{эфф}$ начинает постепенно возрастать и на глубине около 100 м уже состав-

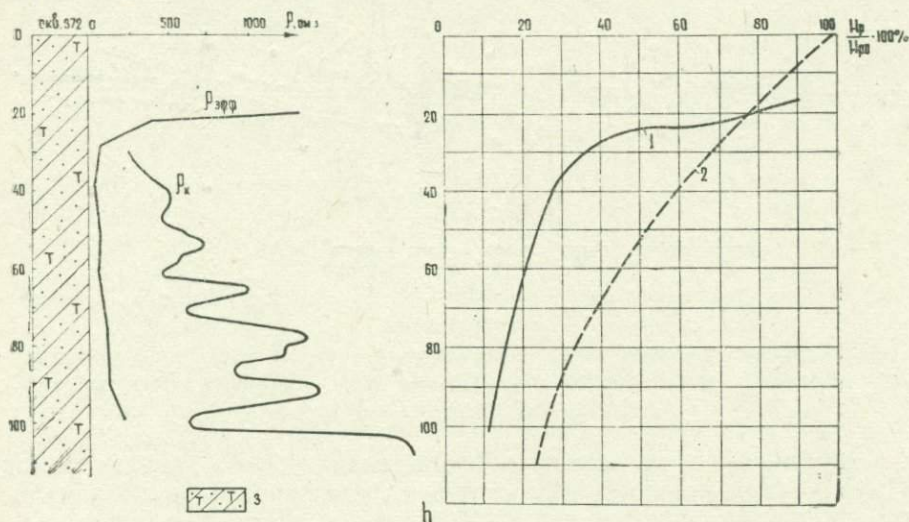


Рис. 5.16. Результаты измерения магнитного поля СДВ в скважине 372 Шамлугского месторождения. Частота 17,5 кгц.
1—экспериментальная кривая H_p ; 2—кривая нормального поля H_n , рассчитанная для туфопесчаников; 3—туфопесчаники.

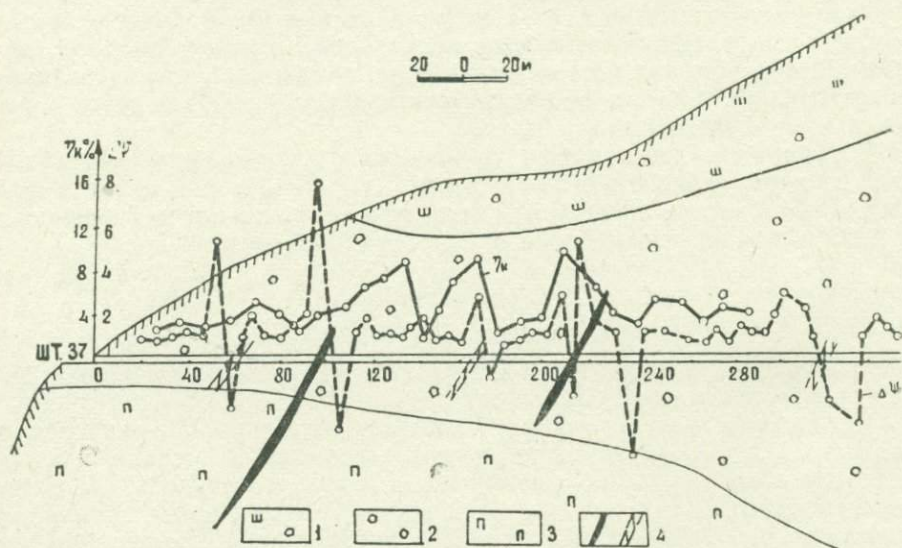


Рис. 5.17. Геологический разрез по шт. 37 Шамлугского месторождения и кривые γ_k (ВП) и $\Delta\psi$ (БТ).
1—кератофиры; 2—туфобрекчии порфиров; 3—порфиры; 4—медноколчеданные рудные жилы.

ляет приблизительно 400 ом·м. На графике КС наблюдается немного иная картина. Правда, кажущееся сопротивление пород с глубиной и здесь растет, но сама кривая имеет довольно изрезанный вид, а ρ_k — завышенные значения.

Здесь впервые был опробован скважинный зонд для измерения горизонтальной составляющей магнитного поля. Экспериментальная кривая с глубиной постепенно приближается к кривой нормального поля, рассчитанного для туфопесчаников. Именно там, где наблюдается уменьшение значения эффективного сопротивления, туфопесчаники раздроблены, обводнены и, как показали гидрогеологические исследования, по скважине повсеместно присутствуют грунтовые воды.

С целью оценки возможностей применения методов ВП и БТ в подземных горных выработках при выявлении и прослеживании медноколчеданных руд наблюдения проведены в штольне 37 (рис. 5.17). Штольня 37 пройдена по туфобрекчиям порфиритов и на пикетах 50, 90, 140, 210 и 300 пересекает рудные жилы различной концентрации. Все рудные жилы четко фиксируются аномалиями кривых η_k и $\Delta\psi$. Интенсивность аномалий коррелируется с содержанием сульфидных минералов в жилах.

5.3. ЗОДСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Геологическая характеристика месторождения. Зодское месторождение расположено в центральной части Севано-Ширако-Акеринской геосинклинальной зоны, в ядре антиклинальной складки, сложенной вулканогенными и вулканогенно-осадочными толщами верхнего мела и палеогена, интрузированными основными, ультраосновными и кислыми породами.

В пределах рудного поля находится массив перидотитов с подчиненными ему участками дунитов, пироксенитов и габбро.

Зоны разлома месторождения, к которым приурочены рудные тела, расположены среди пород габбро, перидотитов и серпентинитов. К этим разломам приурочены рудоносные зоны, повторяющие их морфологию. Мощности отдельных рудных зон, представленных гидротермально измененными породами, колеблется в пределах 10—50 м. В них выделяются линейно-вытянутые промышленные тела большой протяженности.

Благоприятными для формирования рудных тел являлись породы габбро и перидотиты.

В результате нескольких стадий гидротермальной деятельности, а также четко проявленных процессов поверхностного выветривания породы рудных тел обладают непостоянством минералогического, а следовательно, и химического состава.

По физико-химическим условиям, вещественному составу и различной степени окисления руды подразделяются на три зоны:

1) зона окисления, сложенная бурыми железняками с реликтами сульфидных руд;

2) зона частичного выщелачивания;

3) зона первичных руд, представленная кварц-карбонатной породой с сульфидной минерализацией. В некоторых случаях кварц-карбонатные жилы окружены зоной гидротермально измененных пород.

Благоприятным условием для постановки электроразведочных исследований по прослеживанию сульфидных тел является дифференциация пород и руд по физическим параметрам (рис. 5.18 и 5.19). На рис. 5.20 представлены кривые, полученные методами ВП и сопротивлений с установками срединного градиента (η_k , ρ_k) и заряда (η_k, z). На всех рудных пересечениях отмечаются максимумы кривой η_k . По кривой η_k в районе пикетов 720—780 штольни 25 была выявлена аномалия.

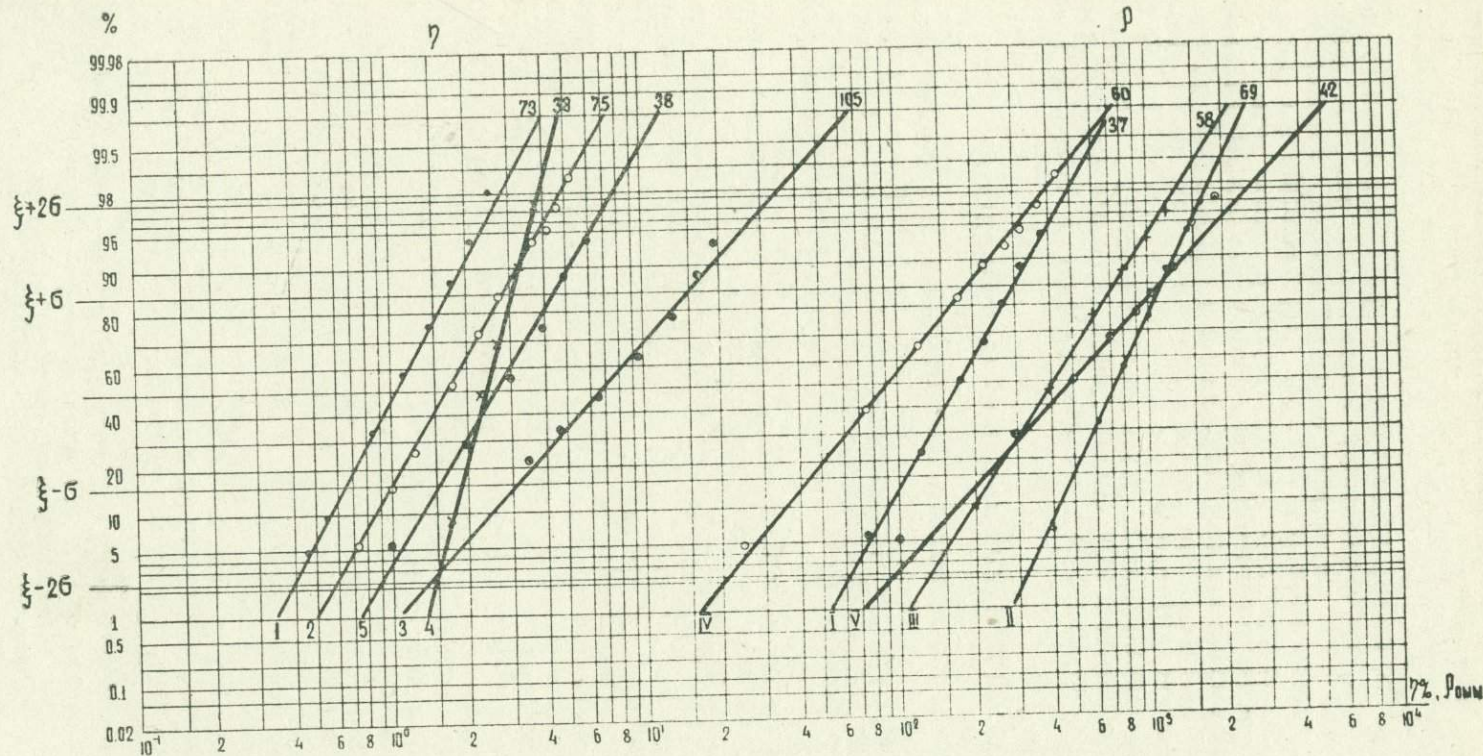


Рис. 5.18. Вероятностные графики накопленных частот поляризуемости и удельного электрического сопротивления по данным параметрических измерений. Зодское золоторудное месторождение.

1. I—перидотиты; 2, II—габбро; 3, III—кварц-сульфидные породы; 4, IV—породы окисленной зоны; 5, V—даечные породы кварц-порфирового состава.

Аналогичные результаты получены также методами ЕП и СДВ-радиоклип (рис. 5.21). Отрицательный знак аномалии естественного поля и значение горизонтальной составляющей радиополя указывают на то, что горизонты наблюдений пересекают самую верхнюю часть рудных жил.

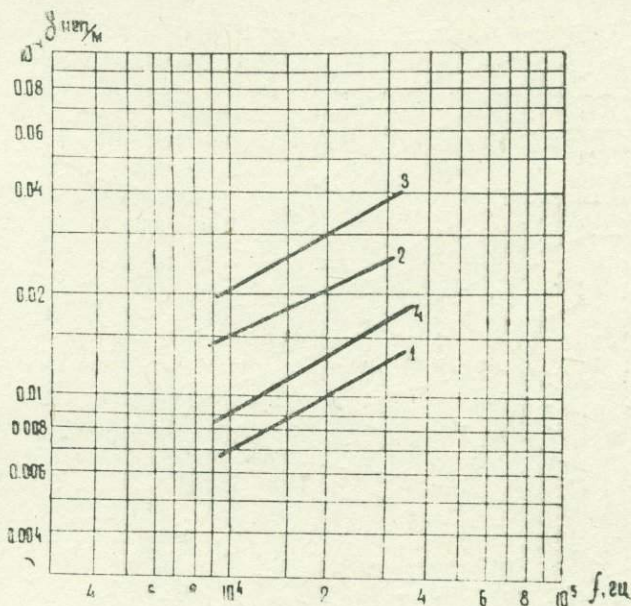


Рис. 5.19. Зависимость коэффициента поглощения радиоволн δ от частоты f для пород и руд Зодского месторождения.

1—габбро; 2—перидотиты (серпентинизированные); 3—зона окисления и выщелачивания; 4—основная кварц-карбонатная зона.

На этом участке, в штольне 5, проводились также наблюдения методом БТ четырехэлектродной градиентной установкой с последующим пересчетом кривой на потенциальную (рис. 5.22). На кривой выделяются 3 аномалии в интервалах пикетов 0—15, 40—55 и 110—160. Указанные аномалии территориально соответствуют пересечению рудных зон и минерализованных перидотитов. Перечисленные пересечения по геолого-геофизическим данным связаны с рудными обнажениями на интервалах пикетов 610—620 и 630—670 штольни 25, являющейся источником блуждающих токов. Как и на других участках, здесь аномалии $\Delta\Phi$ характеризуются пересечением кривой с горизонтальной осью системы координат в центральных частях хорошо проводящих объектов. Над границами указанных объектов отмечаются экстремумы кривой.

Помимо этого, на месторождении опробовался метод БТ при условии расположения транспортной и разведочной выработок под углом друг к другу (рис. 5.23). Здесь в качестве линейно-вытянутого источника принималась транспортная штольня 25, расположенная под углом 70° к штольне 1, которая являлась профилем наблюдения. Измерение проводилось четырехэлектродной потенциальной установкой. Интерпретация результатов исследований осуществлялась способом сравнения экспериментальной и теоретической кривых.

В пределах пород габбро (интервалы пк 100—160 и 220—270) экспериментальная и теоретическая кривые совпадают друг с другом и

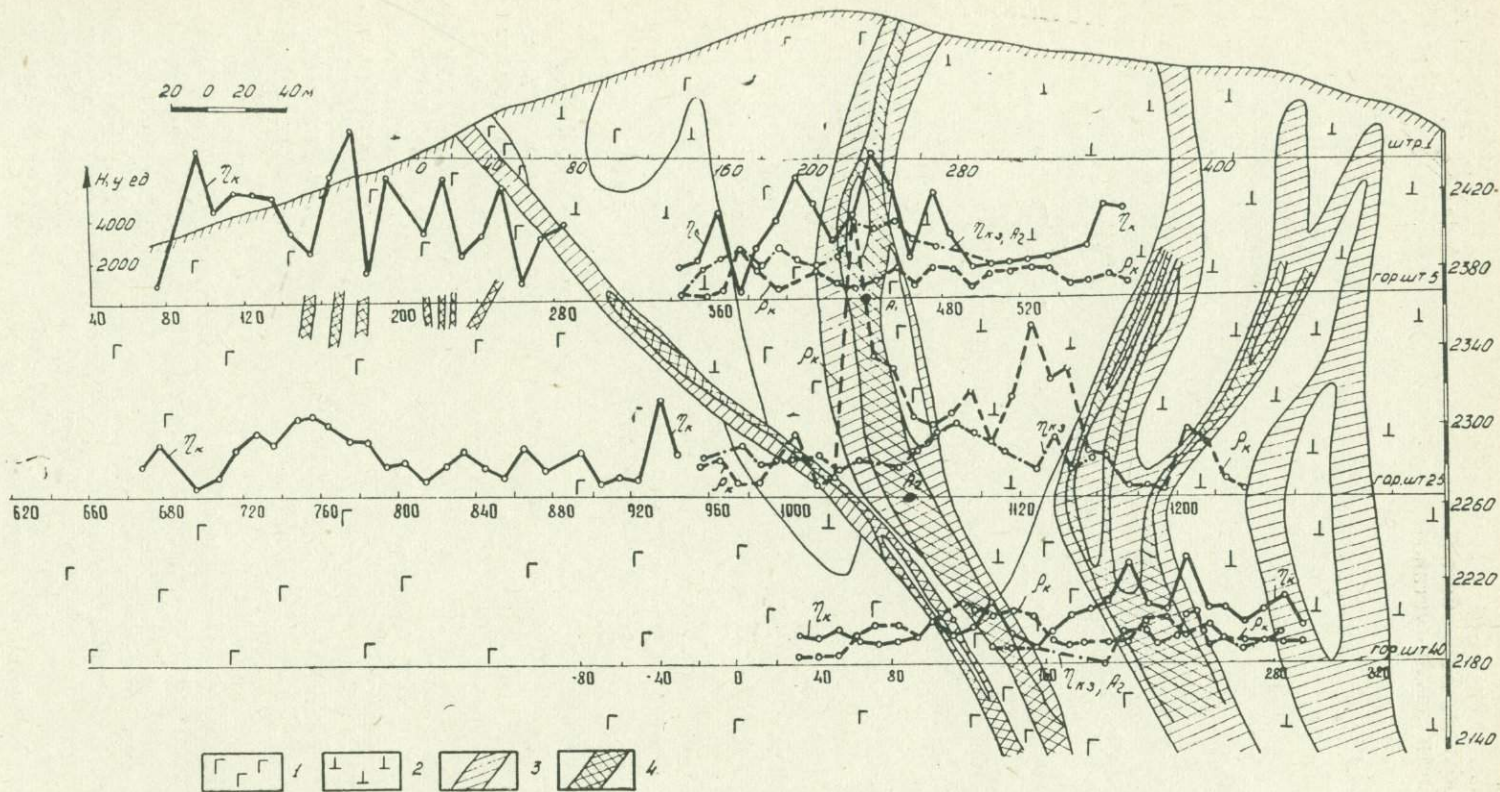


Рис. 5.20. Геологический разрез «Центрального» участка Зодского месторождения и кривые τ_k и ρ_k .

1—габбро; 2—перидотиты; 3—зоны гидротермально измененных пород; 4—рудные тела.

варьируют в пределах $\Delta\Psi = 1-2$. В районе южной границы зоны оруднения значения экспериментальной кривой повышаются, достигая величины $\Delta\Psi = 6,8$. Далее по направлению выработки значение $\Delta\Psi$ резко понижается и приблизительно в центре пересечения с рудной зоной меняет знак на отрицательный. У северной границы рудной зоны также отмечается аномалия экспериментальной кривой с экстремальным значением $\Delta\Psi = -5,8$. Теоретическая кривая в пределах рудной зоны остается почти неизменной и равной по величине 1,3—1,7. По-

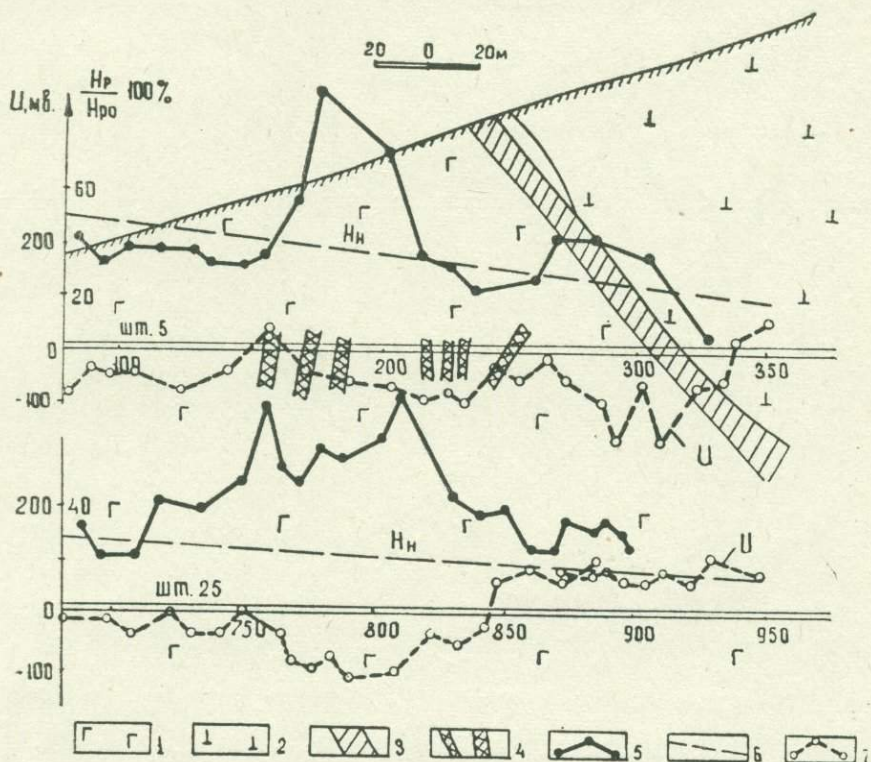


Рис. 5.21. Геологический разрез «Центрального» участка Зодского месторождения и результаты исследований методами ЕП и СДВ-радиокип.
 1—габбро; 2—перидотиты; 3—рудные зоны; 4—рудные жилы; 5—кривая горизонтальной составляющей магнитного поля H_p ; 6—кривая нормального поля H_n ; 7—кривая потенциала естественного поля U .

лученные результаты доказывают применимость разработанной методики для корреляции рудных обнажений.

На месторождении опробовался также скважинный вариант метода СДВ-радиокип. Так, например, наклонная скважина 184 ($\gamma = 80^\circ$) была задана с наклонной плоскости раздела земля — воздух (рис. 5.24). Скважина прошла по хлоритизированным и карбонатизированным габбро, не вскрыв рудного тела. Лишь на глубине около 30 м было встречено тектоническое нарушение. Порода на этой глубине представлена сильно измененным материалом серо-белого цвета, обладающим довольно низким удельным сопротивлением (около 20 ом·м). Резкий спад кривой осевой составляющей H_z магнитного поля на глубине около 10 м наблюдается на контакте наносов с габбро. А на глубине 30 м в районе тектонического нарушения на кривой H_z выделяется отчетливый максимум аномалии.

На одном из участков месторождения были заданы две скважины (181 и 183) с целью подсечения рудной зоны на глубине (рис. 5.25).

Вначале была задана скважина 183. Однако, пройдя по перидотитам и габбровым породам, она не вскрыла данную рудную зону, которая с поверхности земли сильно окислена и выщелочена. Это обстоятельство не позволяет с достоверностью с поверхности земли установить падение указанной зоны.

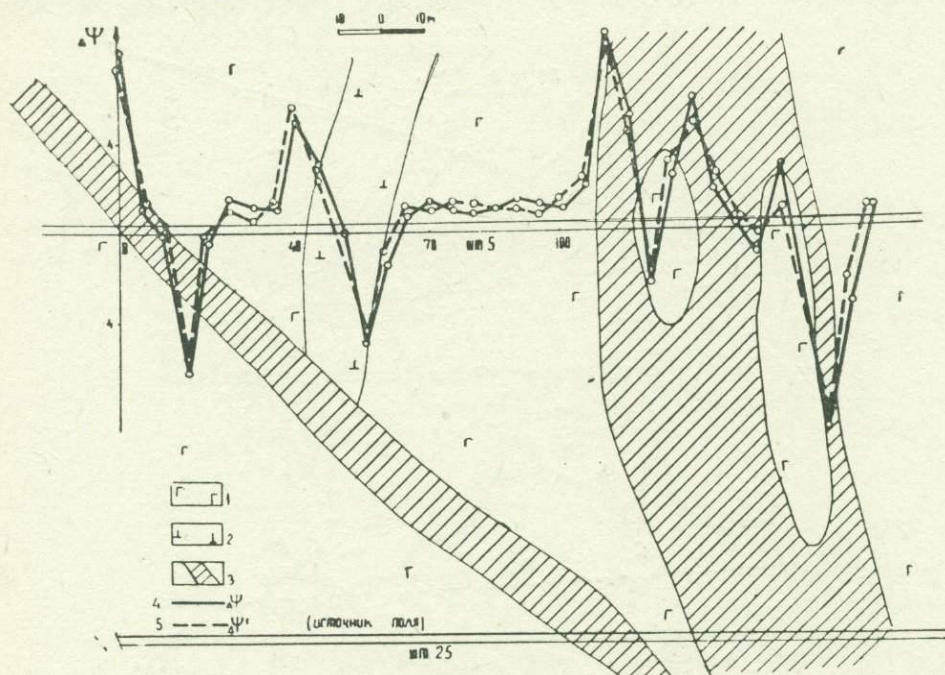


Рис. 5.22. Геологический разрез и кривые $\Delta\Psi$, снятые по шт. 5 Зодского месторождения.

1—габбро; 2—перидотиты; 3—зона сульфидного оруденения; 4—кривая $\Delta\Psi$; 5—то же при повторных наблюдениях.

Перед геофизическими исследованиями в скважинах проводились наземные наблюдения методом СДВ-радиокип по профилю, проходящему между скважинами 181 и 183. В это время скважина 183 была пробурена до проектной глубины, не встретив рудную зону, а скважина 181 находилась в проходке. Рудная зона отмечается максимумом аномалии H_y (рис. 5.25). По характеру кривой H_y можно судить о падении зоны. Если бы перед проходкой скважин были проведены предварительные геофизические исследования, то, безусловно, отпала бы необходимость в проходке скважины 183.

В первую очередь методом СДВ-радиокип исследовалась скважина 183. Основная задача исследований состояла в возможности выявления верхней кромки рудного объекта. На глубине 40 м скважиной был вскрыт контакт перидотитов с сильноминерализованными габбровыми породами. Лабораторные исследования керн по данной скважине установили, что удельное электрическое сопротивление перидотитов в среднем равно 1400 ом·м, а минерализованных габбровых пород — 250 ом·м, т. е. они отличаются по своему сопротивлению от обычных габбро месторождения. В связи с этим радиополе в габбровых породах сильно поглощается и на контакте с перидотитами наблюдается резкий скачок кривой H_z , соответствующий теоретической кривой на контакте двух

разнородных пород (рис. 4.18). Широкий минимум аномалии H_z , полученный в верхней части скважины, вызван верхней кромкой рудного те-

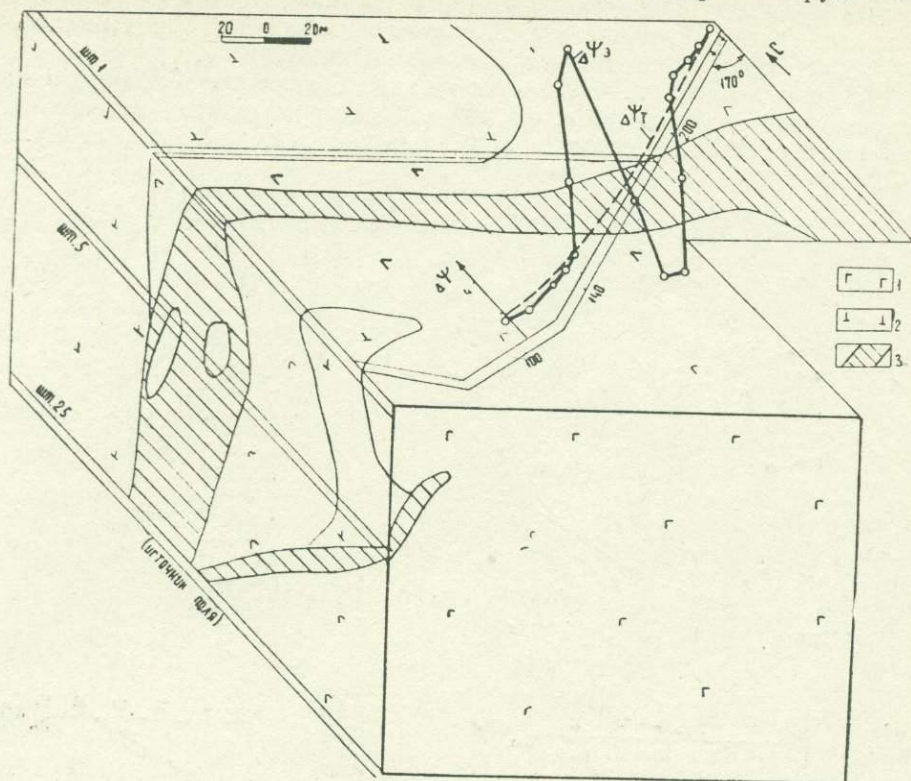


Рис. 5.23. Блок-диаграмма, теоретическая ($\Delta\Psi_T$) и экспериментальная ($\Delta\Psi_Э$) кривые. 1—габбро; 2—перидотиты; 3—зоны сульфидного оруденения.

ла, которое залегает слева от оси скважины (рис. 4.15, вариант 5). Этот рудный объект представлен высокопроводящими рудами, сопротивление которых согласно лабораторным определениям составляет от 7 до 30 ом·м.

Результативный график H_z , полученный вдоль оси скважины 181, заданной с наклонной плоскости раздела земля—воздух, приведен на том же рис. 5.25. Эта наклонная скважина в верхней своей части прошла по минерализованным перидотитам и лишь на глубине около 37 м встретила тектоническое нарушение, где перидотиты сильно изменены и имеют довольно низкое электрическое сопротивление (до 100 ом·м). Ниже тектонического нарушения перидотиты серпентинизированы, и сопротивление их выше сопротивления минерализованных перидотитов. При рассмот-

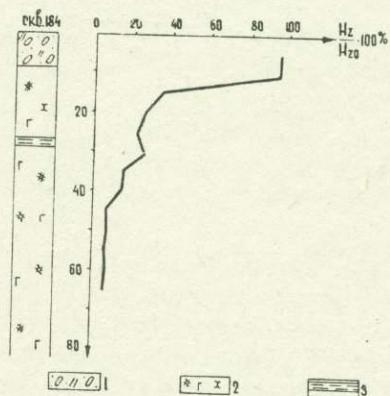


Рис. 5.24. Результаты измерения магнитного поля H_z в скважине 184 Зодского месторождения. Частота 16 кгц.

1—наносы; 2—хлоритизированное и карбонатизированное габбро; 3—тектоническое нарушение.

рении графика H_z , можно установить, что здесь зафиксированы две аномалии. Минимум аномалии H_z на глубине около 15 м соответствует верхней кромке рудного тела, залегающего справа от оси наклонной скважины (рис. 4.16, вариант 8). На этой же кривой H_z тектоническое нарушение отмечается максимумом аномалии.

Результаты исследований этих скважин методом СДВ-радиокип представляют большой практический интерес и подтверждают приближенные теоретические расчеты аномальных полей, приведенные в главе 4.

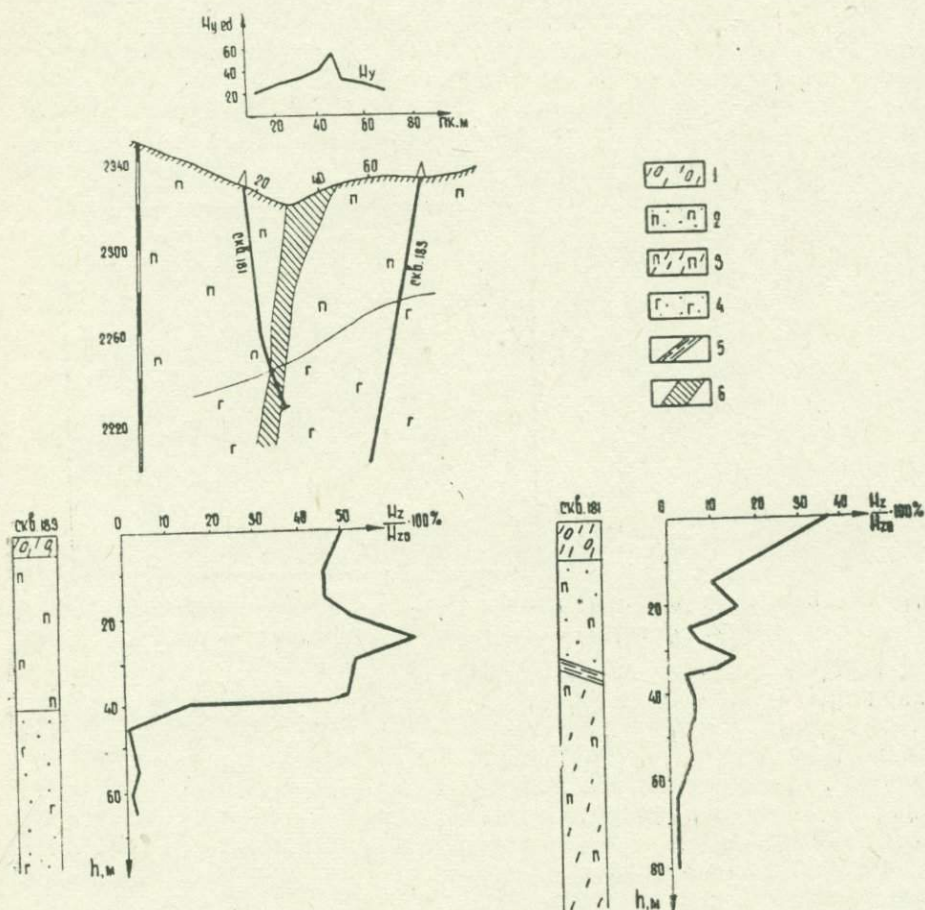


Рис. 5.25. Разрез по скважинам 181 и 183 и результаты измерения напряженности магнитного поля H_z (Зодское месторождение). Частота 16 кгц. 1—наносы; 2—слабоминерализованные перидотиты; 3—серпентинизированные перидотиты; 4—минерализованные габбро; 5—тектоническое нарушение; 6—рудная зона.

5.4. КАФАНСКОЕ МЕДНО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Геологическая характеристика месторождения. Геофизические исследования здесь проводились на участке «Шаумян».

В геологическом строении участка принимают участие, в основном, кварцевые порфириты. Они подверглись сильной гидротермальной измененности, выражающейся окварцеванием, хлоритизацией, серитизацией и алунитизацией. Оруденение участка представлено, в основном,

жильным и прожилково-вкрапленным типом широтного и близширотного простирания. Падение рудных тел южное, крутое: $60 \div 80^\circ$. По геологическим данным по простиранию жилы прослеживаются от первых десятков до 150—200 м. Вертикальная протяженность жил в среднем 120—150 м, реже 200—250 м, средняя мощность — 1,5—2,0 м. Кроме жильного типа оруденения встречаются также рудные тела штокверкового типа. Большинство жил имеют сфалерит-халькопиритовое наполнение со значительным преобладанием первого. В жилах имеются в большом количестве кварц и пирит. Помимо меди, цинка, свинца в жильной массе содержится золото, серебро, теллур и др.

Главными минералами являются: сфалерит, халькопирит, пирит, кварц. Причем халькопирит встречается в виде сплошной жилы довольно низкого электрического сопротивления.

Геофизические исследования методами СДВ-радиокип и ЕП проводились на участке «Шаумян», вдоль штольни 4.

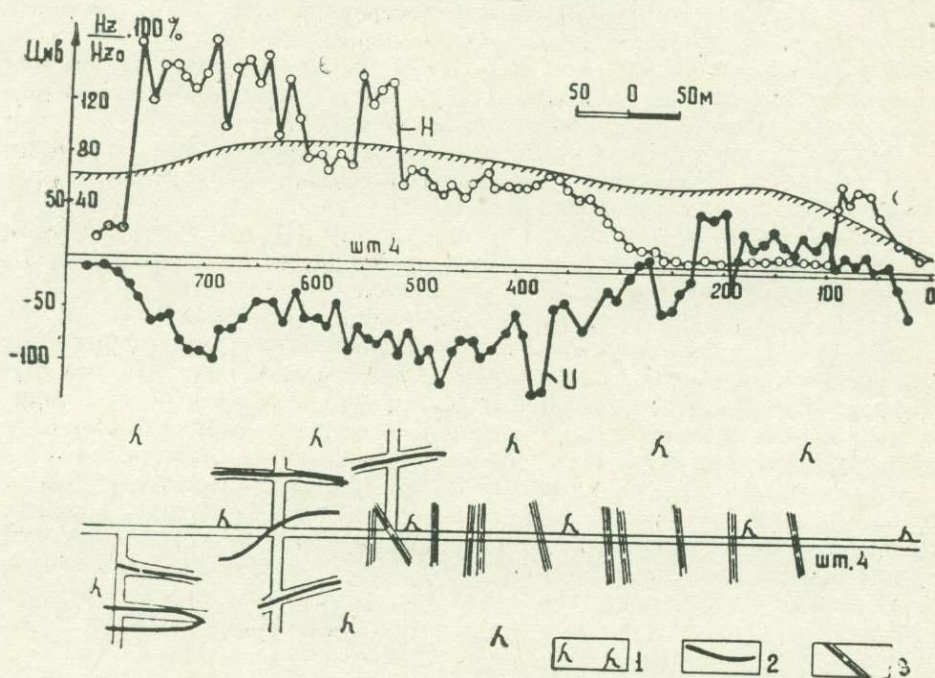


Рис. 5.26. Вертикальный топоразрез и геологический план горизонта штольни 4 Шаумянского участка (Кафанское месторождение) и кривые H_z (СДВ-радиокип) и U (ЕП).

1—кварцевые порфиры; 2—медно-полиметаллические рудные жилы; 3—тектонические нарушения.

Вмещающие породы участка представлены андезито-дацитовыми кварц-порфирами, имеющими электрическое сопротивление до 1000 ом·м. На рис. 5.26 приведен вертикальный топоразрез и геологический план горизонта штольни 4. Горными выработками здесь была вскрыта серия рудных жил, простирающихся параллельно основному стволу штольни. Электрическое сопротивление этих жил, которые в основном представлены халькопиритом, составляет в среднем 10 ом·м.

Направление на радиостанцию совпадало с направлением основного ствола штольни 4 (или с простиранием рудных жил).

Интересные результаты были получены при измерении вертикальной составляющей H_z магнитного поля. Целая серия рудных жил, № 1—5, отмечается довольно широкой аномалией. Основное влияние

оказывают рудные жилы, расположенные в стороне от основного ствола штольни. Поэтому и вдоль всей выработки от пикета 300 до 770 наблюдается максимальное значение H_z . Только в районе пикета 600, где выработка пересекает рудную жилу 3, наблюдается минимум H_z , что соответствует теоретической кривой H_z над рудной жилой.

От пикета 300 до пикета 500 уровень поля H_z почти в два раза ниже по сравнению с уровнем, наблюдаемым от пикета 500 до пикета 770. Эта аномалия, по всей вероятности, вызвана рудными жилами типа 4 и 5, находящимися в стороне и на большом удалении от ствола штольни 4. Аналогичная аномалия отмечается также и в начале устья штольни, где наблюдается сильно измененная зона.

Максимум аномалии H_z объясняется тем, что измерение магнитного поля проводилось в стороне от простираения рудной жилы. Следует отметить, что измерение горизонтальной составляющей H_y магнитного поля вдоль штольни 4 было затруднено вследствие низкого уровня сигнала. Если произвести геометрическое построение векторов вторичного магнитного поля, то станет ясным, что значение поля H_y должно быть на много меньше значения поля H_x . В этом случае результаты измерений трех составляющих магнитного поля могут указать на то, что параллельно выработке расположен линейный проводник.

Рудные жилы отмечаются отрицательными аномалиями потенциала естественного поля. Данные метода ЕП хорошо согласуются с данными СДВ-радиокип (рис. 5.26).

Исследования методами СДВ-радиокип и ЕП на данном месторождении указывают на эффективность методов при выявлении рудных жил, расположенных в стороне от выработки.

С целью оценки возможностей применения методов ВП, ЕП и сопротивлений при прослеживании медно-полиметаллических рудных тел наблюдения проводились в штольне 1 и в квершлагах I южный, где были вскрыты многочисленные рудные жилы. Кривые η_k , ρ_k и U характеризуются резкими изменениями, что объясняется целой серией близко расположенных рудных жил. Над группами рудных жил отмечаются максимумы η_k и ρ_k . Максимальные значения ρ_k над обнаженными рудными телами, по всей вероятности, могут быть объяснены сгущением токовых линий в хорошо проводящих рудных жилах. Кривые потенциала ЕП характеризуются отрицательными значениями потенциала ($U = -150$ мв, на верхнем горизонте; $U = -100$ мв, на нижнем горизонте), что указывает на большое распространение рудных жил в глубину (рис. 5.27).

5.5. ДАСТАКЕРТСКОЕ МЕДНО-МОЛИБДЕНОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ

Геологическая характеристика месторождения. В геологическом строении месторождения участвуют породы эффузивного и интрузивного состава.

Интрузивные породы представлены среднезернистыми гранодиоритами и кварцевыми диоритами и являются частями крупного интрузивного тела, вытянутого в северо-западном направлении. Эффузивные породы представлены плагиоклазовыми пироксенороговообманковыми порфиритами. Указанные изверженные породы пересечены жильными породами — дайками порфиритов и диабаз-порфиритов северо-западно-го и широтного простираения. Все интрузивные и эффузивные породы, слагающие район месторождения, за исключением западной части его, перекрываются мощными четвертичными и современными образованиями.

Оруденение на месторождении контролируется гранодиоритовой интрузией. Порфириты кровли и приконтактные с гранодиоритовой интрузией участки являются рудовмещающими. Основная масса руд-

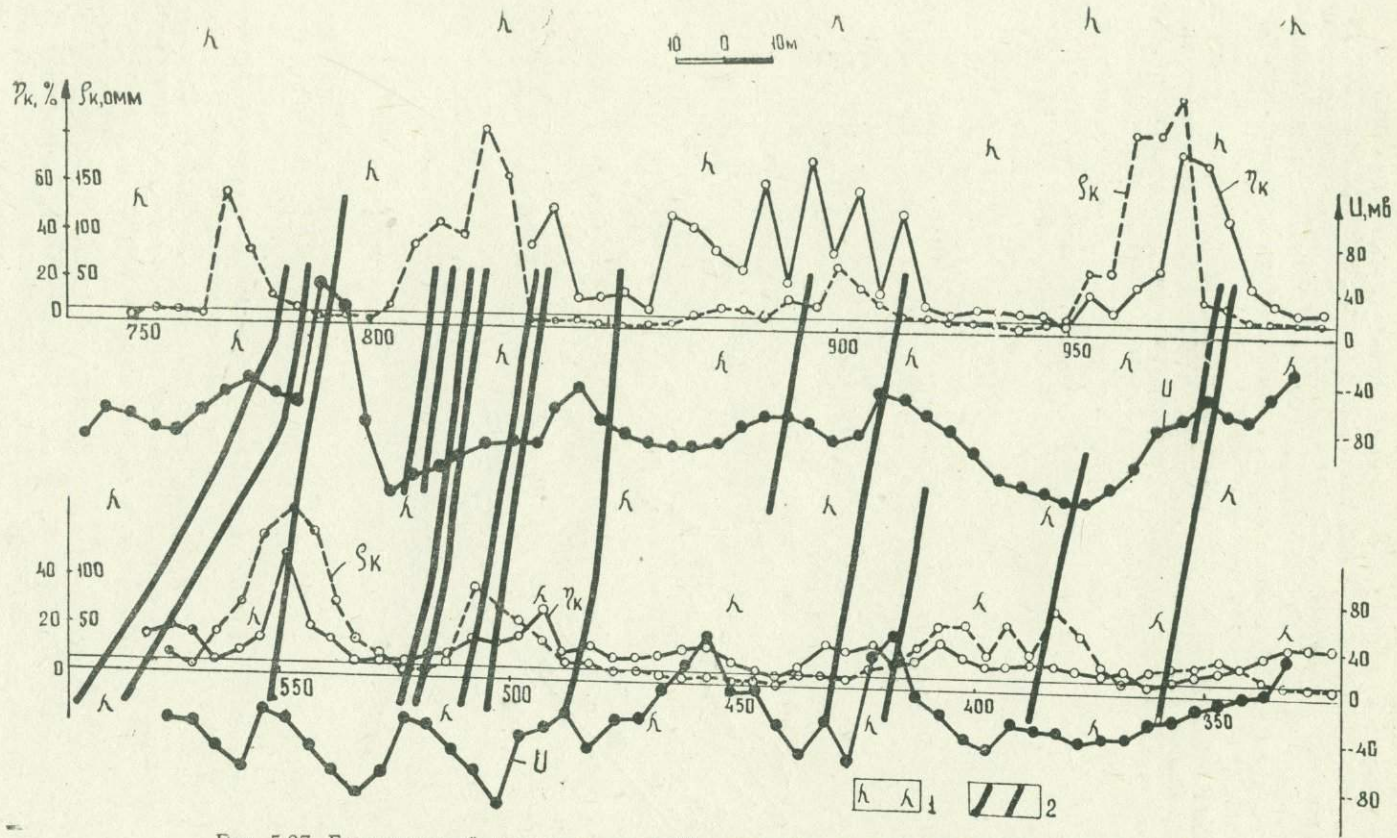


Рис. 5.27. Геологический разрез по шт. I Шаумянского участка (Кафанское месторождение) и кривые ρ_k (ВП) U (ЕП) и ρ_k (метода сопротивлений).
 1—кварцевые порфириды; 2—медно-полиметаллические рудные жилы.

ным и медно-молибденовым оруденением; прожилки и жилы молибденового, медного и медно-молибденового составов; жильные зоны и зоны с медно-молибденовым и медным оруденением.

Главными минералами месторождения являются пирит, халькопирит, халькозин и молибденит. Текстура рудных тел массивная, полосчатая, прожилковая и вкрапленная. Распространенным минералом является пирит.

На рис. 5.28 представлены результаты метода ВП, свидетельствующие о возможностях его для прослеживания контакта гранодиоритов ($\gamma_k = 4-6\%$, $\rho_k = 400-1000$ ом·м) и ороговикованных порфиров ($\gamma_k = 6-24\%$, $\rho_k = 600-3600$ ом·м). Широкий диапазон изменения γ_k и ρ_k в ороговикованных порфиритах, являющихся рудовмещающими, обусловлен их неоднородным составом и наличием жильного и прожилково-вкрапленного медно-молибденового оруденения.

Результаты электроразведочных исследований методом ВП (установка срединного градиента и заряда), представленные на рис. 5.29, указывают на возможность его применения в подземных выработках и

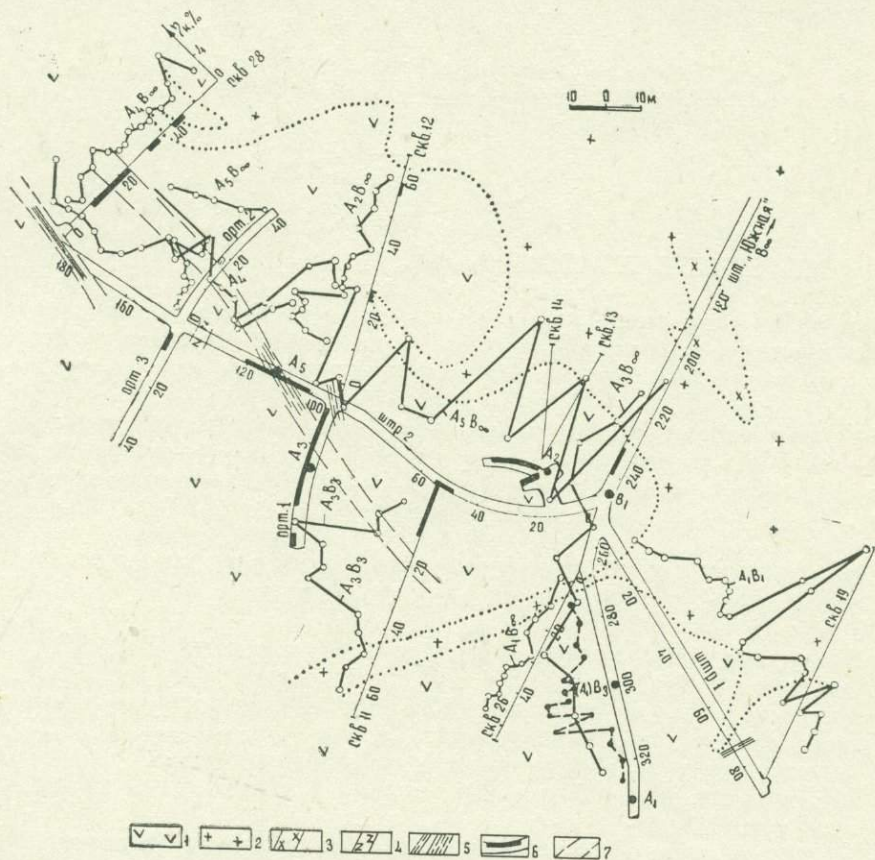


Рис. 5.29. Геологический план горизонта штольни «Южная» Дастакертского месторождения и кривые γ_k , полученные методами срединного градиента и заряда.

1—ороговикованные порфириты; 2—гранодиориты; 3—диорит-порфиритовые дайки; 4—диабаз-порфиритовые дайки; 5—тектонические нарушения; 6—рудные пересечения по данным опробования; 7—контуры промышленных кондиций медно-молибденового оруденения.

горизонтальных скважинах при прослеживании медно-молибденового оруденения.

С целью оценки возможностей применения блуждающих токов в комплексе с методом радиоволнового просвечивания при прослеживании медно-молибденового оруденения проводились наблюдения по штольне «Новая» (рис. 5.30). Вдоль штольни четырехэлектродной потенциальной установкой изучались изменения блуждающих токов от параллельной транспортной штольни. В пределах гранодиоритов (пк 560—660) кривая характеризуется постоянной величиной $\Delta\Psi \approx 1$, а в зоне оруденения (пк 660—750) — резкими изменениями с экстремальными значениями над контактами рудных пересечений. Выявленные рудные зоны вдоль штольни и скважины 27 увязываются с данными радиоволнового просвечивания (частота 0,45 МГц).

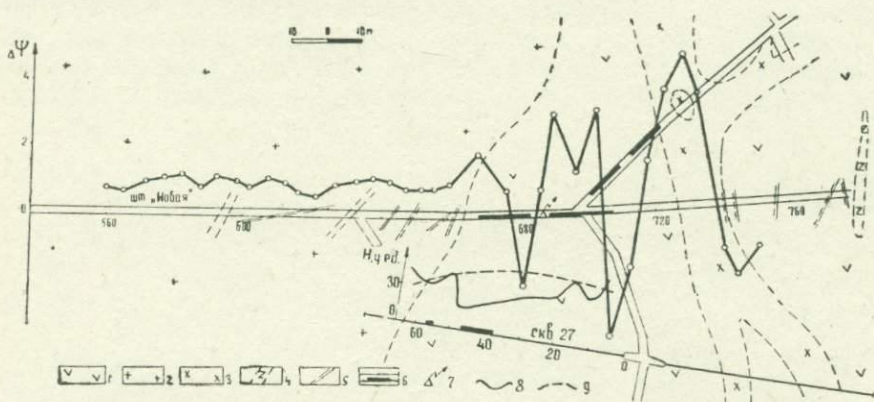


Рис. 5.30. Геологический план горизонта штольни «Новая» Дастакертского месторождения и кривые $\Delta\Psi$ и H , полученные методами блуждающих токов (четырёхэлектродная потенциальная установка) и радиоволнового просвечивания.

1—ороговикованные порфириты; 2—гранодиориты; 3—дайки диорит-порфиров; 4—дайки диабаз-порфиров; 5—тектонические нарушения; 6—рудные пересечения; 7—место стоянки передатчиков; 8—экспериментальная кривая H ; 9—кривая нормального поля H .

5.6. ВОПРОСЫ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ОПРОБОВАННЫХ МЕТОДОВ ПОДЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Подземные геофизические исследования методами ЕП, БТ, ВП и СДВ-радиокип, проведенные на месторождениях Армянской ССР, позволили установить их принципиальные возможности при решении различных геологоразведочных задач:

1) выявление и прослеживание полиметаллических, медноколчеданных, медно-полиметаллических, медно-молибденовых и кварц-сульфидных тел.

2) определение местоположения рудных объектов по отношению к горной выработке и скважине;

3) оценка протяженности оруденения на глубину;

4) оценка концентрации сульфидной минерализации в рудном теле;

5) прослеживание контактов разнородных пород;

6) прослеживание рудоконтролирующих тектонических нарушений и даек.

Обследованные месторождения представлены разными породами и рудами различных типов и размеров тел. По характеру оруденения и

размерам рудные тела месторождений можно подразделить на три группы:

1) месторождения, представленные рудными телами с массивным оруденением и четкими контактами (Ахталское барит-полиметаллическое и Шамлугское медное); 2) месторождения, представленные рудными зонами с жильным, жильно-прожилковым и прожилково-вкрапленным оруденением (Зодское золоторудное и Шаумянский участок Кафанского медно-полиметаллического месторождения); 3) месторождение, представленное рудными полями, на которых выделяются локальные обогащенные участки (Дастакертское медно-молибденовое месторождение).

По электрическим свойствам дифференциация руд и пород наиболее четкая для месторождений первой группы, достаточно четкая—для второй группы и менее четкая—для третьей группы.

Помимо этого необходимо принять во внимание различные технические условия (протяженность и расположение горных выработок, степень обводненности и условия заземления, наличие искусственных проводников, промышленные помехи), которые необходимо учитывать при постановке того или иного метода. Так, например, протяженность горных выработок не является существенной при работах методами ЕП, БТ и СДВ-радиокип. Постановка метода ВП находится в прямой зависимости от протяженности горных выработок. Ограниченность размеров горных выработок уменьшает глубинность исследований и в некоторой степени снижает эффективность работы. При подземных исследованиях расположение горных выработок играет большую роль при выделении рудных тел в блоках пород, расположенных между соседними выработками, при оценке безрудности околорудного пространства, а также при решении некоторых задач геокартирования. Эту же задачу с определенной точностью можно решить при наблюдениях в одиночных выработках методами СДВ-радиокип и ЕП. Высокая влажность горных выработок затрудняет проведение работ методами ЕП, БТ и ВП, так как требует дополнительных мероприятий для борьбы с утечками в проводах. Наличие искусственных проводников требует применения технических приемов для избежания их влияния. С одной стороны, промышленные токи являются основой применения метода БТ, а с другой,—серьезными помехами при работе методами ЕП и ВП.

Как известно, эффективное решение геологоразведочных задач зависит от правильного комплексирования геофизических методов. В связи с этим целесообразно рассмотреть результаты применения методов ЕП, БТ, ВП и СДВ-радиокип в свете их комплексирования.

Остановимся на месторождениях, которые представлены рудными телами с массивным оруденением.

На рис. 5.4 приведены графики магнитного поля H_p метода СДВ-радиокип, напряженности поля H электромагнитного профилирования и потенциала естественного поля U . Полиметаллическое рудное тело отмечается более четкой аномалией H_p . Помимо этого, по кривой H_p конкретно устанавливается местоположение возмущающего объекта, расположенного ниже выработки, что невозможно сделать по кривой H электромагнитного профилирования. Кроме того, наблюдения методом СДВ-радиокип проводятся гораздо быстрее и при меньших затратах средств. Таким образом, выявленные методом электромагнитного профилирования аномалии могут быть уточнены данными метода СДВ-радиокип, позволяющим установить местоположение возмущающего объекта. Помимо этого, положительная аномалия потенциала U естественного поля позволяет установить, что горная выработка (штр. 3) пройдена над средней или нижней частью рудной линзы (дополнительно см. рис. 5.9). Таким образом, комплексное применение методов

электромагнитного профилирования, СДВ-радиокип и ЕП позволяет не только выявить аномалию, но также установить местоположение возмущающего объекта по отношению к горной выработке.

Классическим примером комплексирования методов ЕП, БТ, ВП и СДВ-радиокип могут служить результаты, полученные по штреку 9 Ахталского месторождения (рис. 5.5). Если методы ВП и БТ устанавливают лишь наличие рудных тел, то методы ЕП и СДВ-радиокип указывают их положение относительно горизонта наблюдения.

При постановке рассмотренных электроразведочных методов в подземных условиях немаловажную роль играет также зондирование методом ВП, которое может охарактеризовать поведение рудного тела по падению (рис. 5.7).

Комплексное применение методов ВП, сопротивлений и электромагнитного профилирования в штреке 54 Ахталского месторождения позволило выявить аномальные участки, связанные со «слепыми» рудными объектами, которые впоследствии были вскрыты скважинами № 330 и 334 (рис. 5.6).

Результаты комплексного применения методов ВП и электромагнитного профилирования по квершлагу 1899 Шамлугского месторождения позволили выявить медноколчеданные рудные жилы вблизи горной выработки (рис. 5.14). Рудные линзы отмечены также аномалиями γ_k и ρ_k вблизи квершлага 1933 (рис. 5.13). Известные рудные жилы с различной концентрацией сульфидных минералов четко отбиваются аномалиями ВП и БТ в штольне 37 (рис. 5.17).

На месторождениях, где руды представлены зонами жильного, прожилкового и прожилково-вкрапленного оруденения (Зодское месторождение и Шаумянский участок Кафанского месторождения), интенсивность геофизических аномалий ввиду нечеткой дифференциации руд и пород не очень высокая. Однако полученные результаты геофизических исследований опробованными методами свидетельствуют о том, что даже при таких условиях они могут быть успешно применены с целью геологической разведки. Так, например, на участке «Центральный» Зодского месторождения рудные зоны и тела четко отбиваются всеми методами (рис. 5.20, 5.21, 5.22 и др.). В итоге удалось выявить и проследить рудные зоны.

Такие задачи удовлетворительно решаются также на Дастакертском медно-молибденовом месторождении, где рудные тела, представленные небольшими скоплениями медно-молибденового оруденения, не имеют резкого контакта с окружающими породами и по своим физическим свойствам мало отличаются от последних (рис. 5.28, 5.29 и 5.30).

Из опыта комплексного применения разработанных методов методы СДВ-радиокип и естественного электрического поля как наиболее мобильные и экономически эффективные могут быть предложены для опоскования всех выработок и скважин изучаемого месторождения с целью выявления аномальных объектов, связанных с рудными телами и другими геологическими неоднородностями. В дальнейшем при детализации выявленных аномалий предлагается применять методы вызванной поляризации и блуждающих токов с различными установками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований по разработке подземных электроразведочных методов ЕП, ВП, БТ и СДВ-радиокип и их опробованию на различных типах месторождений позволяют заключить, что их применение намного повышает экономическую эффективность геологоразведочных работ.

Установлено, что в подземных условиях фильтрационные поля и поля, связанные с шахтно-рудничным металлическим оборудованием, как правило, обладают небольшой интенсивностью и могут быть учтены простыми приемами. Искажения полей, вносимые горными выработками, также поддаются учету на основании соответствующих расчетов. Это обуславливает реальные условия для широкого использования наблюдений естественных полей с практической целью обнаружения новых рудных тел в окрестностях выработок и для прослеживания известных тел между выработками.

В однородной по поляризуемости среде как горная выработка, так и дневной рельеф совершенно не влияют на результаты подземных наблюдений методом ВП. Однако в неоднородной среде наблюдается влияние горной выработки и рельефа дневной поверхности. Рельсы, расположенные вдоль горной выработки, повышают уровень поляризуемости на 3—8%.

При движении контактных электровозов в выработках, отстоящих от исследуемой на расстоянии 100—1000 м, совершенно исключается возможность применения методов ВП и ЕП. Наблюдения этими методами возможны лишь при отключенной электросети рудника. В противном случае целесообразным является применение метода блуждающих токов, позволяющего проводить геофизические исследования, не нарушая ритма работы промышленного предприятия (рудника). Разработанная методика изучения блуждающих токов позволяет исключить или уменьшить влияния горной выработки, шахтно-рудничного металлического оборудования и других помех.

Установлено, что сигналы сверхдлинноволновых радиостанций уверенно принимаются в подземных горных выработках до глубины 300—350 м, где напряженность поля на некоторых месторождениях составляет 20—25% от фиксируемой на поверхности земли. Влияние на поле СДВ разнообразных помех, вызванных шахтно-рудничными металлическими конструкциями, незначительно и исключается сравнительно простыми приемами.

Метод ЕП. Характер распределения и интенсивность естественных полей определяются типом оруденения, размером рудных объектов, их пространственными взаиморасположениями и текстурой руд. Фактические линейные размеры полей на 1,4—1,7 больше линейных размеров рудных тел. Обнаружение новых тел и прослеживание известных с помощью метода естественного поля возможно на расстоянии до 100 и более метров от обследуемой выработки. Установленное соотношение между линейными размерами отрицательной и положительной областей поля, составляющее 1/3—1/5, позволяет по результатам изучения

полей на некотором участке прогнозировать распространение руд на глубину и, тем самым, оценить перспективу месторождения. Характер объемной структуры поля связан с типом оруденения и может быть использован для получения соответствующей геологической информации.

Исследование естественных полей на месторождениях показало зависимость пространственного распределения химических элементов в водах от объемной структуры поля.

Метод ВП. Сопоставление рассчитанных и экспериментальных кривых полей ВП для вытянутых тел с произвольным сечением показывает их удовлетворительное совпадение. При интерпретации результатов подземных наблюдений учитывается то обстоятельство, что распределение электрического поля происходит в полном пространстве, а геологический объект может быть расположен выше, ниже и на одном горизонте с профилем наблюдения. Определена роль метода ВП при поисках и разведке рудных тел, а также доказана его возможность для решения геологоструктурных задач.

Метод БТ. С помощью разработанной методики наблюдений, позволяющей определить отношение приращений потенциалов, возможно изучение электрических полей промышленных блуждающих токов с поисково-разведочной целью. Практические наблюдения показали возможность прослеживания рудных тел между выработками, а также обнаружение их в окрестностях обследуемой выработки.

Метод СДВ-радиокип. На основании общей теории распространения сверхдлинных радиоволн получены приближенные выражения нормального и аномального полей для подземных условий с учетом особенностей рельефа, направления профиля и местоположения возмущающего объекта.

Это позволило установить следующие условия определения положения искомого объекта:

1) при наблюдениях в подземных горных выработках минимальное значение напряженности горизонтальной составляющей магнитного поля соответствует проводящему объекту, залегающему выше выработки, а максимальное — ниже выработки; график напряженности вертикальной составляющей H_z в обоих случаях имеет одну и ту же конфигурацию и по нему нельзя определить местоположение возмущающего объекта;

2) при измерении поля в вертикальной скважине при горизонтальной плоскости раздела земля — воздух в районе рудного объекта наблюдается максимальное значение H_z , а кривая H_p выше кромки рудного объекта имеет максимальное, а ниже — минимальное значение; по этим кривым невозможно установить пространственное положение рудного объекта;

3) при измерении поля в наклонных и вертикальных скважинах при наклонной плоскости раздела земля — воздух по графикам H_z и H_p можно установить пространственное положение рудного объекта относительно оси скважины.

При постановке подземных геофизических работ особое требование предъявляется к используемой аппаратуре (водо- и пыленепроницаемость, портативность). В связи с этим разработана скважинная аппаратура метода СДВ-радиокип с зондами, позволяющими измерять в скважине осевую и нормальную к оси компоненты магнитного поля. Разработан прибор для измерения отношения приращений потенциалов блуждающих токов. Показана возможность применения электроразведочной станции ВП-59, приборов «Эрцпроспектор», ЭСК-1 и др. для подземных работ методами ВП и ЕП.

В заключение можно отметить, что применение опробованных методов подземной электроразведки для поисков новых и разведки известных рудных тел является реальным средством для расширения перспектив действующих горнодобывающих предприятий. Основной задачей дальнейшего развития подземных вариантов методов ЕП, ВП, БТ и СДВ-радиокип должно явиться как их внедрение в производство, так и совершенствование теоретических, методических и аппаратурных основ методов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альперт Я. Л. О распространении электромагнитных волн низкой частоты над земной поверхностью. М., Изд. АН СССР, 1955.
2. Арутюнян Г. В., Бадалян С. В., Гамоян В. Б. Использование горизонтальных скважин подземного бурения при комплексных электроразведочных исследованиях.—«Разведка и охрана недр», № 2, 1969.
3. Арутюнян Г. В., Бадалян С. В., Гамоян В. Б., Геворкян В. М. К вопросу изучения поляризуемости образцов горных пород и руд.—«Методы разведочной геофизики», вып. 10, Л., «Недра», 1970.
4. Арутюнян Г. В., Бадалян С. В., Газарян Г. О., Гамоян В. Б., Геворкян В. М., Геворкян М. Г. Комплексирование методов подземной геофизики при поисках глубоко залегающих рудных тел на колчеданных месторождениях Арм. ССР. Тезисы доклада. Семинар по обмену опытом «Поиски глубоко залегающих рудных месторождений», МГ Каз. ССР, Казахский геофизический трест, Чимкент, 1970.
5. Аузин А. К. Опыт применения метода естественного электрического поля на прожилково-вкрапленных медно-молибденовых месторождениях Центрального Казахстана.—«Уч. зап. ЛГУ», № 303, вып. 13, 1962.
6. Бадалян С. В. Новый геофизический прибор и опыт его опробования на Ахталском месторождении.—«Промышленность Армении», № 7, 1965.
7. Бадалян С. В. Опыт применения подземного варианта метода вызванной поляризации на Ахталском месторождении.—«Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле», т. XVIII, № 5, 1965.
8. Бадалян С. В. Результаты испытания «Эрцпроспектора» на Ахталском месторождении.—«Геофиз. аппаратура», вып. 27, Л., «Недра», 1966.
9. Бадалян С. В. Рудничный вариант метода ВП.—«Методика и техника разведки», № 59, Л., ОНТИ ВИТР, 1967.
10. Бадалян С. В. Возможности и особенности применения метода вызванной поляризации в рудничных условиях.—«Вопросы разведочной геофизики», вып. 7, Л., «Недра», 1968.
11. Бадалян С. В. Изучение зависимости поляризуемости от количества и состава электропроводящих минералов. Материалы республиканской научной конференции по геофизическим и инженерно-сейсмологическим исследованиям. ИГИС АН Арм. ССР, 1970.
12. Бадалян С. В., Бондаренко В. М., Ванцян Г. М., Газарян Г. О., Тархов А. Г. Опыт применения комплекса подземных геофизических методов для решения поисково-разведочных задач на примере одного полиметаллического месторождения.—«Изв. вузов, сер. геология и разведка», № 10, 1966.
13. Бадалян С. В., Ванцян Г. М., Газарян Г. О. О геофизических поисках глубоко залегающих рудных тел на колчеданных месторождениях Армении.—«Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле», т. XX, № 5—6, 1967.
14. Бадалян С. В., Геворкян В. М. Об изменении электрических свойств горных пород и руд на рудниках в зависимости от геологических факторов.—«Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле», т. XXIV, № 6, 1971.
15. Бадалян С. В., Даниелян К. А. Эффективность электроразведочных исследований

на стадии эксплуатационной разведки и пути ее повышения.—В сб. Центрального научно-исследовательского института информации и технико-экономических исследований цветной металлургии «Совершенствование геолого-маркшейдерской службы на предприятиях цветной металлургии», № 1, 1970.

16. *Бадалян С. В., Геворкян В. М., Геворкян М. Г., Цатурян А. И.* Способы и особенности изучения электрических свойств горных пород и руд в подземных горных выработках.—В кн.: «Физика горных пород и процессов». Тезисы конференции, М., МГИ, 1971.
17. *Бадалян С. В., Матевосян А. Ш.* Некоторые данные сравнительного изучения месторождений Севано-Амасийского рудного пояса методом вызванной поляризации.—«Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле», т. XXII, № 1, 1969.
18. *Балашев А. Н.* Некоторые результаты моделирования скважинных вариантов метода вызванной поляризации.—«Методика и техника разведки», № 59, Л., ОНТИ ВИТР, 1967.
19. *Балашев А. Н., Зимкин И. Д., Сайганов Э. А.* Условия применения и эффективность метода вызванной поляризации в Карамазаре.—«Методика и техника разведки», № 49, Л., ОНТИ ВИТР, 1965.
20. *Барани И., Сабо Я., Дудко А.* Моделирование задач подземной электроразведки методом сопротивлений. Сб. материалов научно-технического семинара, состоявшегося в 1967 году в г. Закопане (ПНР), М., 1968.
21. *Белаш В. А.* О некоторых способах интерпретации результатов наблюдений по методу вызванной поляризации.—«Геология и геофизика», № 7, Изд. СО АН СССР, 1961.
22. *Бердичевский М. Н.* Электроразведка методом магнитотеллурического профилирования. М., «Недра», 1968.
23. *Богданчиков Л. П.* и др. Использование подземного электрического поля для решения некоторых задач на рудниках.—«Сб. ст. Каз. фил. ВНИИГ», Алма-Ата, № 2, 1958.
24. *Бондаренко А. П.* Аналитический способ обработки полевых наблюдений при разведке с помощью земных токов.—«Изв. АН СССР, сер. геофиз.», № 3, 1955.
25. *Бондаренко В. М., Викторов Г. Г., Глухов С., Гархов А. Г., Ташев Н. Г.* Об эффективности сверхдлинноволнового варианта метода радиокип.—«Изв. вузов, сер. геология и разведка», № 4, 1969.
26. *Бродский А. А.* Гидрохимический метод поисков меди. М., Госгеолтехиздат, 1956.
27. *Булашевич Ю. П.* Расчет поля вызванных потенциалов для рудных тел сферической формы.—«Изв. АН СССР, сер. геофиз.», № 5, 1956.
28. *Бухникашвили А. В.* Обработка наблюдений естественного электрического поля Рарского месторождения меди методом эквипотенциальных сфер.—«Тр. Ин-та физики и геофизики АН Груз. ССР», т. IX, Тбилиси, Изд. АН Груз. ССР, 1964.
29. *Бухникашвили А. В.* Электроразведка в рудной геологии Закавказья. Тбилиси, Изд. АН Груз. ССР, 1962.
30. *Ваньян Л. Л.* О теоретических кривых морского электрического зондирования донной установки.—«Прикладная геофизика», вып. 15, 1956.
31. *Ваньян Л. Л., Морозова Г. М., Ложеницына Л. Б.* О теоретических кривых метода вызванной поляризации.—«Геология и геофизика», № 10, Изд. СО АН СССР, 1961.
32. *Вешев А. В., Семенов А. С., Новожилова М. Е.* Новый вид естественного электрического поля в земле.—«ДАН СССР, сер. Наука» XXXVII, № 6, 1952.
33. *Вешев А. В., Мизюк Л. Я., Петров Г. А., Фокин А. Ф., Чирьев А. Н.* Электронная электроразведочная аппаратура. ЭСК-1, КСР-1, КСРМ-1, М., Гостоптехиздат, 1959.
34. *Газарян Г. О.* Результаты опробования сверхдлинноволнового варианта метода радиокип в Армении.—«Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле», т. XVIII, № 3—4, 1965.
35. *Газарян Г. О.* К вопросу о скважинном варианте метода СДВ—радиокип.—«Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле», т. XX, № 6, 1966.

36. Газарян Г. О. Опыт применения сверхдлинноволнового варианта метода радиокип в подземных условиях.—«Вопросы разведочной геофизики», вып. 7, Л., «Недра», 1968.
37. Газарян Г. О. Определение сопротивления среды при исследованиях сверхдлинноволновых радиоволн (10—30 кгц) в подземных горных выработках.—«Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле», т. XXI, № 3, 1968.
38. Газарян Г. О. Об учете искажающих факторов в подземном варианте метода СДВ—радиокип.—«Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле», № 5, 1971.
39. Газарян Г. О. К расчету нормальных полей при геофизических наблюдениях сверхдлинноволновым вариантом метода радиокип в подземных условиях.—В сб.: «Геофизические и сейсмологические исследования строения земной коры территории Армянской ССР», Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1975.
40. Газарян Г. О. Применение метода СДВ—радиокип в подземных горных выработках.—«Разведка и охрана недр», № 1, 1976.
41. Гамоян В. Б. Влияние горной выработки на характер электрических полей при работе подземным вариантом метода постоянного тока. Материалы республиканской научной конференции по геофизическим и инженерно-сейсмологическим исследованиям. Ленинакан, 1970.
42. Гамоян В. Б. К вопросу применения метода естественного электрического поля в подземных горных выработках.—«Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле», № 2, 1970.
43. 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. горн. о-ва 1970.
44. Гамоян В. Б. О результатах применения метода естественного электрического поля в подземных горных выработках и в горизонтальных скважинах некоторых месторождений Арм. ССР.—«Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле», № 1, 1971.
45. Гамоян В. Б., Жук Л. А. Учет искажающих факторов при подземных работах методом естественного электрического поля. Материалы II и III научно-технических конференций молодых геофизиков Украины. Киев, «Наукова думка», 1968.
46. Горячко И. В. Электроразведочная аппаратура и оборудование. М., «Недра», 1965.
47. Гезин А. Е. Применение метода вызванной поляризации в рудных районах Северного Кавказа.—В сб.: «Применение метода вызванной поляризации при поисках рудных месторождений», М., «Недра», 1964.
48. Глубинные поиски полиметаллических и золото-сульфидных руд на основе скважинных геофизических и геохимических методов (методическое руководство). Л., «Недра», 1968.
49. Гнидчин В. М., Попов В. Г., Рогачев Б. В., Седельников Э. С. Опыт использования полей сверхдлинноволновых радиостанций для поисков кварцево-сульфидных зон в Полярной Якутии.—«Тр. ЦНИГРИ», вып. 74, М., 1968.
50. Гнидчин В. М., Рогачев Б. В., Седельников Э. С. Поиски объектов с высоким электрическим сопротивлением в поле сверхдлинных волн.—«Тр. ЦНИГРИ», вып. 89, М., 1970.
51. Гордеев С. Г. К вопросу о влиянии рельефа в методе радиокип при измерении поля сверхдлинных волн.—«Тр. ЦНИГРИ», вып. 89, М., 1970.
52. Грачев А. А. Некоторые результаты изучения искажающего влияния искусственных проводников при шахтном радиоволновом просвечивании.—«Разведочная геофизика», вып. 13, «Недра», М., 1966.
53. Даев Д. С. Помехи при радиоволновом просвечивании и борьба с ними.—«Бюлл. НТИ МГОН СССР», № 5 (17), М., Госгеолтехиздат, 1958.
54. Дахнов В. Н. Электрическая разведка нефтяных и газовых месторождений. Изд. 2-е, М., Гостоптехиздат, 1953.

55. Дахнов В. Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. М., Гостоптехиздат, 1955.
56. Демидович О. А. Некоторые результаты применения статистической обработки к данным рудной электроразведки.—Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 1, 1964.
57. Долуханов М. П. Распространение радиоволн. М., Связьиздат, 1960.
58. Долуханова Л. И. Гидрогеология и гидрохимия Алавердской группы месторождений (Ахтала, Шамлуг, Алаверди) и опыт применения на них почвенной гидрохимической съемки. Ереван, Изд. АН Арм. ССР, 1967.
59. Заборовский А. И. Электроразведка. М., Гостоптехиздат, 1963.
60. Зограбян С. А., Мкртчян С. С. О возрасте дизъюнктивных нарушений на Ахтальском месторождении.—Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, т. XVII, 3—4, 1964.
61. Инструкция по электроразведке, часть I, методы постоянного тока, естественного поля и теллурических токов. М., Гостоптехиздат, 1961.
62. Инструкция по электроразведке, часть 2, методы переменных электромагнитных полей и вызванной поляризации. М., «Недра», 1966.
63. Иоффе Л. М. Об импульсных способах измерений в методе вызванной поляризации.—«Методика и техника разведки», № 49, Л., ОНТИ ВИТР, 1965.
64. Иоффе Л. М., Комаров В. А., Семенов М. В. Об использовании помех промышленных переменных токов для поисковых целей.—«Вопросы рудной геофизики», вып. 1, М., Госгеолтехиздат, 1957.
65. Калашников Л. Ю. Использование методов скважинной геофизики для оценки перспектив полиметаллических месторождений Рудного Алтая.—«Разведка и охрана недр», № 10, 1960.
66. Каменецкая Р. М., Якубовский Ю. В. Опыт применения метода блуждающих токов для разведки полиметаллического месторождения.—«Разведка и охрана недр», № 3, 1957.
67. Каменецкий Ф. М., Коваленко В. Ф. Подавление помех промышленной частоты при регистрации нестационарных электрических полей.—«Разведочная и промысловая геофизика», вып. 51, М., «Недра», 1964.
68. Комаров В. А. Методика изучения поляризуемости образцов горных пород.—«Обмен опытом», вып. 56, Л., ОНТИ ВИТР, 1967.
69. Комаров В. А., Иоффе Л. М., Семенов М. В. Метод вызванной поляризации (методические указания).—«Обмен опытом», вып. 20, Л., ОНТИ ВИТР, 1959.
70. Комаров В. А., Пишпарева Н. А., Семенов М. В., Хлопонина Л. С. Вопросы теории метода вызванной поляризации.—«Информационный сборник», № 30, Л., ОНТИ ВИТР, 1961.
71. Комаров В. А., Пишпарева Н. А. Экспериментальные данные о вызванной поляризации электронных проводников.—«Методика и техника разведки», № 49, Л., ОНТИ ВИТР, 1965.
72. Комарова В. А., Шаповалов О. М. Методика моделирования полей вызванной поляризации рудных тел.—«Методика и техника разведки», № 49, Л., ОНТИ ВИТР, 1965.
73. Комаров В. А., Пишпарева Н. А., Семенов М. В., Хлопонина Л. С. Теоретические основы интерпретации наблюдений в методе вызванной поляризации. Л., «Недра», 1966.
74. Комаров В. А., Хлопонина Л. С., Балашев А. Н., Попов И. И., Шафаренко В. А. Скважинная электроразведка методом вызванной поляризации. Л., «Недра», 1969.
75. Краснушкин П. Е., Яблочкин Н. А. Теория распространения сверхдлинных радиоволн. Выч. центр АН СССР, 1963.
76. Матевосян С. М., Мадатян Э. М. Некоторые вопросы зоны окисления Зодского золоторудного месторождения.—Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, т. XXII, № 3, 1969.
77. Методы рудной геофизики. Обзор современного состояния геофизических методов.

- поисков и разведки месторождений твердых полезных ископаемых. Л., Изд. ВИРГа, 1968.
78. *Микиртичан Г. М., Фролов А. Д.* Транзисторные полевые измерительные приборы для высокочастотной электроразведки. М., ОНТИ ВИЭМС, № 10, 1968.
 79. *Михайлов Г. Н., Яговкин Б. В.* Искажение аномалий вызванной поляризации над электроннопроводящими объектами за счет рельефа местности.—«Методы разведочной геофизики», вып. 10, Л., «Недра», 1970.
 80. *Мкртчян С. С.* Особенности распределения элементов вокруг рудных тел на Ахтальском полиметаллическом месторождении.—«Изв. АН Арм. ССР, геол. и геогр. науки», т. XIV, № 4—5, 1963.
 81. *Мясников Ю. Г.* Выбор типа заземления при подземных геоэлектрических исследованиях.—«Геофиз. аппаратура», вып. 42, 1970.
 82. *Мясников Ю. Г., Матюшечкин В. Ф., Клибин В. В.* Подземная электроразведка с помощью аппаратуры ИКС—50.—«Геофиз. аппаратура», вып. 41, 1969.
 83. *Мясковский О. М.* Некоторые вопросы теории распространения радиоволн и ее применение для поисков пресных вод в пустынях.—«Изв. вузов, сер. геология и разведка», № 12, 1962.
 84. *Никитин А. А., Тархов А. Г.* К использованию способа обратных вероятностей для обработки геофизических данных.—«Разведочная геофизика», № 15, 1966.
 85. *Никитина В. Н.* Об аномальных полях переменных электромагнитных полей над цилиндрическими неоднородностями.—«Тр. Геофиз. ин-та АН СССР», № 32 (159), 1956.
 86. *Огильви А. А.* Электроразведка в подземных горных выработках.—«Разведка и охрана недр», № 7, 1940.
 87. *Огильви Н. А., Мясковский О. М., Лаптев В. Ф.* Новый метод ускоренных поисков с самолета линз пресных грунтовых вод в пустыне.—«Бюлл. НТИ ГнОН СССР», № 1 (29), 1961.
 88. *Ограновский Н. А., Рогачев Б. В., Седельников Э. С.* Полевая аппаратура для измерения напряженности радиополей в диапазоне 10—30 кГц.—«Геофиз. аппаратура», вып. 39, Л., «Недра», 1969.
 89. *Петровский А. А.* Определение места, глубины и мощности сферической залежи по наблюдению создаваемых ею земных токов.—«Изв. ИПГ», вып. 3, 1927.
 90. *Петровский А. А.* Изолинии естественного электрического поля, создаваемого сферической залежью.—«Изв. ИПГ», вып. 4, 1928.
 91. *Петровский А. Д., Скорняков С. М.* Метод односкважинного радиопросвечивания и примеры его применения.—«Тр. ЦНИГРИ», вып. 58, 1964.
 92. *Поляков А. С.* К вопросу о вызванных электрических потенциалах в горных породах.—В кн.: «Геофиз. методы поисков полезных ископаемых». Л., Гостоптехиздат, 1951.
 93. *Поляков А. С.* Влияние поверхностных проводящих образований на результаты работ методом электропрофилирования.—«Вопросы разведочной геофизики», вып. 2, Л., Госгеолтехиздат, 1960.
 94. *Поляков А. С.* Влияние рельефа местности на результаты работ методом вызванной поляризации.—«Методы разведочной геофизики», вып. 10, Л., «Недра», 1970.
 95. *Постельников А. Ф.* К расчету полей вызванной поляризации.—«Тр. ЦНИГРИ», вып. 59, М., 1964.
 96. *Путилова И. Н., Марченко А. Ф., Никольский К. К., Райцын Г. А., Разумов Л. Д.* Коррозия и защита металлических сооружений средств связи. М., Гос. изд. по вопросам связи и радио, 1963.
 97. Распространение длинных и сверхдлинных радиоволн. Сб. статей под ред. В. Б. Пестрякова. М., Изд. иностр. лит., 1960.
 98. *Рогачев Б. В., Седельников Э. С.* Использование радиоволн сверхдлинноволнового диапазона в геофизической разведке.—«Разведка и охрана недр», № 9, 1964.
 99. *Рогачев Б. В., Седельников Э. С.* О возможности использования полей сверхдлинных волн для поисков кварцевых жил.—«Тр. ЦНИГРИ», вып. 74, М., 1968.
 100. *Рогачев Б. В., Седельников Э. С., Гнидчин В. М.* Использование полей СДВ—

- станций для геологического картирования и поисков рудных месторождений.— «Тр. ЦНИГРИ», вып. 89, М., 1970.
101. *Родионов П. Ф., Кокоуров В. Д.* О применимости электромагнитного поля высокой частоты для разведки сульфидных месторождений Урала.—«Геол. сб. Тр. горно-геол. института УФАН СССР», Свердлов., 1957.
 102. *Рыбальченко Е. Б.* Применение скважинной электроразведки на медно-колчеданном месторождении в Мугоджарах.—«Методика и техника разведки», № 68, Л., ОНТИ ВИТР, 1970.
 103. *Рысс Ю. С.* Экспериментальные исследования вызванной поляризации электронных и ионных проводников—В сб.: «Вопросы рудной геофизики», Л., Госгеолтехиздат, 1957.
 104. *Рысс Ю. С.* Об особенностях вызванной поляризации горных пород на безрудных участках.—В сб.: «Новое в методике и технике геологоразведочных работ», № 2; Л., Гостоптехиздат, 1959.
 105. *Рысс Ю. С.* Геофизические методы при поисках глубокозалегающих месторождений Рудного Алтая.—«Тр. ВИТРа», сб. 5, 1962.
 106. *Рысс Ю. С.* Естественные электрические поля на Рудном Алтае и их геологическое значение. Канд. дисс. ЛГУ, 1963.
 107. *Рысс Ю. С.* и др. Поиски и картирование пиритизированных зон и графитизированных пород методом естественного поля в мелких масштабах.—«Уч. зап. ЛГУ», № 33, вып. 13, 1962.
 108. *Рысс Ю. С., Тясто А. С.* Скважинный вариант метода естественного электрического поля.—«Методика и техника разведки», Л., ОНТИ ВИТР, вып. 38, 1960.
 109. *Рысс Ю. С., Тясто А. С.* Структура естественных электрических полей на рудных месторождениях и ее использование при поисках и разведке полезных ископаемых.—«Обзорная серия: Региональная, разведочная и промысловая геофизика», вып. 2, М., ОНТИ ВИЭМСа, 1966.
 110. *Сабо Я., Барани И.* Моделирование задач подземной электроразведки методом сопротивлений.—«Изв. вузов, сер. геология и разведка», № 10, 1966.
 111. *Саковцев Г. П.* Проблема поисков глубокозалегающих рудных месторождений Урала. Состояние и задачи разведочной геофизики. Материалы VI Всесоюзной научно-технической конференции в г. Ленинграде. «Недра», 1970.
 112. *Самарцева А. Г., Остроумов В. В.* Потенциал течения.—«Бюлл. нефтяной геофизики», вып. II, М.—Л., ОНТИ НКТП СССР, 1936.
 113. *Свешников Г. Б.* Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях. Изд. ЛГУ, 1967.
 114. *Седельников Э. С.* Использование сверхдлинноволнового диапазона радиоволн в методе радиокип.—«Тр. ЦНИГРИ», вып. 59, М., 1965.
 115. *Седельников Э. С., Соколов Е. И.* Опытные работы методом СДВ—радиокип на Северном Кавказе.—«Тр. ЦНИГРИ», вып. 74, М., 1968.
 116. *Семенов А. С., Ферчев М. Д., Мальчевский В. С.* К вопросу о применимости параметра РР в геофизической разведке. Материалы ЦНИГРИ, «Геофизика», сб. 8, М.—Л., Гостоптехиздат, 1940.
 117. Справочник геофизика. Т. 3, Электроразведка. М., Гостоптехиздат, 1963.
 118. *Семенов А. С.* Электроразведка методом естественного электрического поля. Изд. ЛГУ, 1955.
 119. *Семенов А. С.* Электроразведка методом естественного электрического поля. Л., «Недра», 1968.
 120. *Семенов А. С., Новожилова М. Е., Вешев А. В.* Меняющееся естественное электрическое поле в земле.—В сб.: «Вопросы рудной геофизики», вып. I, М., Гостоптехиздат, 1957.
 121. *Семенов М. В.* Об использовании скважин при работах методом вызванной поляризации.—«Методика и техника разведки», № 23, Л., ОНТИ ВИТР, 1960.
 122. *Семенов М. В.* Скважинный вариант метода вызванной поляризации.—«Обмен опытом», вып. 48, Л., ОНТИ ВИТР, 1961.
 123. *Смирнов В. И.* Курс высшей математики. Т. 2, М., Изд. физ.-мат. лит., 1961.

124. *Тархов А. Г.* О геоэлектрическом поле фильтрации.—«Изв. АН СССР, сер. геофиз. и геогр.», т. X, № 5, 1946.
125. *Тархов А. Г.* Моделирование переменных электромагнитных полей в целях геофизической разведки.—«Изв. АН СССР, сер. геофиз.», № 4, 1953.
126. *Тархов А. Г.* Геофизическая разведка методом индукции. М., Госгеолтехиздат, 1954.
127. *Тархов А. Г.* Волноводные свойства горных выработок.—«Изв. АН СССР, сер. геофиз.», № 4, 1955.
128. *Тархов А. Г.* К вопросу об использовании теории информации в разведочной геофизике.—«Изв. АН Арм. ССР, сер. геол. и геогр.», т. XII, № 6, 1959.
129. *Тархов А. Г., Сидоров А. А.* О математической обработке геофизических данных.—«Изв. АН СССР, сер. геофиз.», № 10, 1960.
130. *Тархов А. Г.* Основы геофизической разведки методом радиокип. Госгеолтехиздат, М., 1961.
131. *Тархов А. Г.* Современное состояние и перспективы развития подземной геофизики.—«Изв. вузов, сер., геология и разведка», № 11, 1967.
132. *Тархов А. Г.* О подземных наблюдениях естественного электрического поля в рудных районах.—«Изв. вузов, сер. геология и разведка», № 12, 1958.
133. *Тархов А. Г.* и др. Подземная геофизика. М., «Недра», 1973.
134. *Тарасов Г. А.* Влияние наносов в методе естественного электрического поля.—«Уч. зап. ЛГУ», № 249, вып. 10, 1958.
135. *Тихонов А. Н., Шахсуваров Д. Н.* О применимости электромагнитных полей радиостанций для геофизической разведки.—«Тр. геофиз. ин-та АН СССР», № 9, 1954.
136. *Фараджян С. В.* Влияние рельефа на поле вызванных потенциалов.—«Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле», XXI, № 4, 1968.
137. *Фокин А. Ф., Авдеевич М. М., Панов Ю. Д.* Новые установки для электро моделирования потенциальных полей.—«Методика и техника разведки», № 62, Л., ОНТИ ВИТР, 1968.
138. *Фролов А. Д.* Радиоволновой метод геологического картирования.—«Сов. геология», № 6, 1960.
139. *Фролов А. Д.* Изучение карста с помощью радиоволнового картирования.—В сб.: «Геофиз., методы изучения карста. Тр. совещания по карсту». Пермь, 1963.
140. *Фролов А. Д.* Аппаратура на полупроводниках и методика радиоволнового картирования.—«Тр. Межвуз. конф. по индукт. методам разведки», «Недра», 1964.
141. *Фролов А. Д.* Поиски и разведка кварцевых жил с помощью радиоволнового картирования.—«Сов. геология», № 11, 1964.
142. *Хасабалла Р. С., Макаров А. В., Якубовский Ю. В., Мельников В. П.* Влияние плотности тока и концентрации электролита на вызванную поляризацию сульфидных минералов.—«Изв. вузов, сер., геология и разведка», № 2, 1969.
143. *Хенкел Дж. Г., Ван-Постранд Р. Г.* Экспериментальные исследования потенциалов вызванной поляризации.—«Промысловая геофизика», вып. I, М., Гостоптехиздат, 1959.
144. *Хмелевской В. К., Фролов А. Д.* Измерение напряженности радиоволнового поля широкоэмитальных радиостанций для геологического картирования.—«Разведка и охрана недр», № 5, 1958.
145. *Хмелевской В. К.* Электроразведка постоянным током в горных выработках.—«Разведка и охрана недр», № 5, 1960.
146. *Хмелевской В. К.* Основы теории подземных электрических зондирований.—«Геофизические исследования», сб. I, Изд. МГУ, 1964.
147. *Хмелевской В. К.* Методы подземной электроразведки.—«Геофизические исследования», сб. I, Изд. МГУ, 1964.
148. *Шаповалов О. М.* Опыт применения метода вызванной поляризации.—«Разведка и охрана недр», № 2, 1961.
149. *Шаповалов О. М.* Применение метода вызванной поляризации на поисковом

- участке в Челябинской области.—В сб.: «Применение метода вызванной поляризации при поисках рудных месторождений», М., «Недра», 1964.
150. *Шатовалов О. М.* Некоторые результаты модельных исследований по методу вызванной поляризации.—«Методика и техника разведки», № 49, Л., ОНТИ ВИТР, 1965.
 151. *Шейнман С. М.* О возможности использования теллурических токов и дальних радиостанций для геологического картирования.—«Тр. ВИТРа», сб. I, Л., Гос-топтехиздат, 1958.
 152. *Шлюмберже К.* Подземная электроразведка. Изд. НТГИ, 1932.
 153. *Шлюмберже К.* О вызванной поляризации в скважинах.—«Каротаж, различные операции в скважинах», вып. 6, М., Госгеолнефтеиздат, 1934.
 154. «Эрипроспектор»—новый геофизический прибор.—«Геофиз. аппаратура», вып. 27, 1966.
 155. *Ярославцев А. М.* Интерпретация графиков ВЭЗ и ВП.—«Разведка и охрана недр», № 11, 1965.
 156. *Ярославцев А. М.* Методика приближенных расчетов и интерпретация графиков кажущейся поляризуемости ВЭЗ—ВП.—«Геология и геофизика», № 2, «Наука», Сибирское отделение, 1967.
 157. *Якубовский Ю. В., Ляхов Л. Л.* Электроразведка, М., Госгеолтехиздат, 1966.
 158. *Anders W.* Versuche zur induzierten galvanischen polarisation an Gesteinsmodellen. Freiburger Forschungshefte, R. G., 28, 1956.
 159. *Badaljan S. V.* Die elektrische Erkundung in Erzbergwerken mit Hilfe der Methode der induzierten Polarisation. Geophysik in Berghen. s. 226, 1967.
 160. *Baldwin R. A.* A decade of development in overvoltage surveying. Min. Engng., № 3, 1959.
 161. *Becker A.* Radio wave mapping of ground conductivity anomalies. Paper Geol. Surv. Canada, № 1, 1967.
 162. Geologist use VLT. Electron (Canada), 6, № 2, 1969.
 163. Geonics will soon introduce an airborne version of its EM 16 VLF unit. Engng. and Mining, 1, 169, № 5, 1968.
 164. *Fountain D.* The application of the induced polarization method at Brenda Mines, British Columbia. Canad. Min. Metall. Bull., 61, № 670, 1968.
 165. *Fox R. Were.* On the electro-magnetic properties of metalliferous veins in the mines of Cornwall. Philosoph. trans. Roy. soc. Lond. part. 11, Lond., 1830.
 166. *Katayose K.* Electrical prospecting of the Daifu, Nigata Prefecture Bull. of geological survey of Japan, vol. 4, № 41.
 167. *Matsubara A.* On the self-electrification of sulphide ore bodies. Japan. J. geol. a. geography, vol 7, № 2. 1930.
 168. *Militzer H.* Die elektrische Figenpotential methode in Erzbergbau Bergbautechnik, 3.
 169. Mineral mapping with VLF radio signal. S. Afric Mining and Eng. J. 79, № 3951, 1968.
 170. *Müller M.* Ein neues elektrisches Aufschlussverfahren mit grosser Tiefenwirkung. Beitrage angew. Geophys., 4, 1934.
 171. New radio system for mineral exploration developed. Mineral Inform. Serv. Calif. Div. Mines and Geol., 22, № 3, 1969.
 172. *Parker S., Gay I.* Geophysical exploration shows marked increase. Min. Engng., № 2, 1967.
 173. *Schillinger A. W.* Calumet Successfully Uses S. P. Probe Underground to Boost are Discoveries. Mining Engineering, vol. 16, № 11, 1964.
 174. *Schlumberger C.* Phenomenes electriques, Produits par les gisements metalligues. Compte rende, t. 174, 1922.
 175. *Shibato K.* Electrical prospecting in the Numajiri sulphurmine Fukushima prefecture. Bull. of geological survey of Japan, vol. 4, № 4, 1953.
 176. *Sumi F.* Geophysical exploration in Mining by induced polarization. Geophysical prospecting, vol. 14, № 3, 1959.
 177. *Whittes A. B.* Prospecting with radio frequency EM—16 mountainous regions. West. Miner, 42, № 2, 1969.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. МЕТОД ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ	8
1.1. Особенности наблюдений естественных полей в подземных выработках и скважинах подземного бурения	9
1.2. Методика и техника наблюдений естественного поля в подземных горных выработках и горизонтальных скважинах подземного бурения	29
1.3. Структура естественных электрических полей на рудных месторождениях Армянской ССР и некоторые вопросы интерпретации результатов подземных наблюдений методом ЕП	31
ГЛАВА 2. МЕТОД ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ	44
2.1. Теоретические основы подземного варианта метода ВП	45
2.2. Искажающие факторы при работе методом ВП в подземных горных выработках	63
2.3. Методика наблюдений и интерпретация данных	86
ГЛАВА 3. МЕТОД БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ	108
3.1. Характер блуждающих токов	108
3.2. Методика и техника наблюдений методом блуждающих токов	115
ГЛАВА 4. СВЕРХДЛИННОВОЛНОВЫЙ ВАРИАНТ МЕТОДА РАДИОКИП	127
4.1. Нормальное поле СДВ под землей	128
4.2. Аномальное поле	138
4.3. Аппаратура для подземного варианта метода СДВ-радиокип	155
4.4. Методика полевых работ и интерпретация полученных результатов при подземном варианте метода СДВ-радиокип	160
ГЛАВА 5. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ	175
5.1. Ахтальское барит-полиметаллическое месторождение	175
5.2. Шамлугское медноколчеданное месторождение	187
5.3. Зодское золоторудное месторождение	195
5.4. Кафанское медно-полиметаллическое месторождение	202
5.5. Дастакертское медно-молибденовое месторождение	204
5.6. Вопросы комплексирования опробованных методов подземной электроразведки	208
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	211
ЛИТЕРАТУРА	214

СТЕПАН ВАРДКЕСОВИЧ БАДАЛЯН, ГЕОРГИЙ ОГАНЕЗОВИЧ ГАЗАРЯН,
ВАГАРШАК БАГДАСАРОВИЧ ГАМОЯН

ПОДЗЕМНАЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА НА РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АРМЕНИИ

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

Редактор издательства *Г. А. Абрамян*
Худ. редактор *Г. Н. Горцакалян*
Переплет *О. Т. Саркисяна*
Тех. редактор *Л. К. Арутюнян*
Корректор *Л. С. Азатян*

ИБ № 274

ВФ 03395 Формат 70×108¹/₁₆. Бумага № 1. Гарнитура литературная,
печать высокая.

Печ. л. 14,0. Усл. печ. л. 19,6. Учетно-изд. л. 17,98.

Тираж 1000. Зак. № 1141. Изд. № 5082. Цена 3 р. 10 к.

Издательство АН Арм. ССР, 375019, Ереван, ул. Барекамутян, 24 г.

Типография Издательства АН Арм. ССР, 378310, г. Эчмиадзин.

19582