

**Охрана окружающей среды и природопользование. Недра
ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ**

**Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарыстанне. Нетры
ПРАВИЛЫ ПРАВЯДЗЕННЯ ЭЛЕКТРАРАЗВЕДАЧНЫХ РАБОТ**

Издание официальное



Минприроды

Минск

УДК

КС 73.020

КП 02

Ключевые слова: электроразведка, электроразведывание, электрод, удельное электрическое сопротивление, поляризуемость, переходной процесс, провод, геоэлектрический разрез, сигнал, установка.

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению техническим нормированием и стандартизацией в области охраны окружающей среды установлены Законом Республики Беларусь «Об охране окружающей среды».

1 РАЗРАБОТАН научно-производственным республиканским унитарным предприятием «БЕЛГЕО»

ВНЕСЕН Департаментом по геологии Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 28 марта 2012 г. № 11-Т

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ (взамен Инструкции по электроразведке, утвержденной Министерством геологии СССР 24 декабря 1981 г., Л.: Недра. 1984).

Настоящий технический кодекс установившейся практики не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь

Содержание

1	Область применения.....	1
2	Нормативные ссылки.....	1
3	Термины и определения.....	1
4	Обозначения и сокращения.....	2
5	Общие положения.....	3
5.1	Задачи электроразведки и виды электроразведочных работ.....	3
5.2	Применение методов электроразведки в комплексе с другими геофизическими и геологическими методами.....	5
5.3	Виды и масштабы электроразведочных съемок. Сети наблюдений.....	6
6	Правила проведения электроразведочных работ.....	7
6.1	Проектирование работ.....	7
6.2	Организация работ.....	8
7	Методика и техника проведения полевых электроразведочных работ.....	9
7.1	Технические средства для проведения электроразведочных работ.....	9
7.2	Топографо-геодезическое обеспечение электроразведочных работ.....	10
8	Методы наземной электроразведки.....	11
8.1	Метод естественного постоянного электрического поля.....	11
8.2	Метод заряда.....	14
8.2.1	Общие сведения.....	14
8.2.2	Метод заряда с измерением характеристик электрического поля.....	15
8.2.3	Метод заряда с измерением характеристик магнитного поля.....	22
8.3	Метод электропрофилирования.....	25
8.3.1	Общие сведения.....	25
8.3.2	Электропрофилирование с заземленными установками.....	26
8.3.3	Электропрофилирование с незаземленными установками.....	30
8.4	Метод электрического зондирования.....	32
8.5	Метод вызванной поляризации.....	37
8.6	Магнитотеллурические методы.....	45
8.7	Метод зондирования становлением электромагнитного поля.....	58
8.8	Методы электромагнитного профилирования.....	67
8.8.1	Общие сведения.....	67
8.8.2	Электромагнитные методы профилирования с гармоническим полем.....	67
8.8.3	Дипольное электромагнитное и индуктивное профилирование.....	68
8.9	Метод переходных процессов.....	74
9	Методы скважинной электроразведки.....	79
9.1	Метод электрической корреляции.....	79
9.2	Метод вызванной поляризации в скважинах.....	82
10	Камеральная обработка материалов и отчетность.....	89
10.1	Камеральная обработка материалов.....	89
10.2	Отчетность.....	91
	Приложение А (рекомендуемое) Ориентировочные сведения по масштабам и расстояниям между точками наблюдений.....	92
	Приложение Б (рекомендуемое) Форма дневника электроразведочной партии (отряда).....	93
	Приложение В (обязательное) Общая форма титульного листа и оглавления журнала.....	94
	Приложение Г (рекомендуемое) Форма журнала для полевых наблюдений методом естественного поля (работа в модификации потенциала).....	95

ТКП 17.04-40-2012

Приложение Д (рекомендуемое) Форма журнала для полевых наблюдений методом естественного поля (работа в модификации градиента потенциала).....	96
Приложение Е (рекомендуемое) Форма журнала для полевых наблюдений методом заряда при работе в модификации градиента.....	97
Приложение Ж (рекомендуемое) Форма журнала для полевых наблюдений методом заряда при работе в модификации потенциала.....	98
Приложение К (рекомендуемое) Форма журнала для полевых наблюдений методом электропрофилирования *.....	99
Приложение Л (рекомендуемое) Форма журнала для наблюдений методом зондирования со стрелочным индикатором.....	100
Приложение М (рекомендуемое) Разносы питающих и приемных линий для симметричных четырехэлектродных установок вертикального электрического зондирования с более частым шагом.....	101
Приложение Н (рекомендуемое) Формы полевых журналов для наблюдений методом вызванной поляризации при работе со стрелочным прибором (установка градиента).....	102
Приложение П (рекомендуемое) Форма журнала для наблюдений методом вызванной поляризации с измерением фазового сдвига (инфаз ВП) в одночастотном режиме *.....	103
Приложение Р (рекомендуемое) Форма журнала для наблюдений методом вызванной поляризации с измерением фазового сдвига (инфаз ВП) в двухчастотном режиме.....	104
Приложение С (рекомендуемое) Форма полевого журнала для методов магнитотеллурического профилирования (зондирования).....	105
Приложение Т (рекомендуемое) Формы журнала для наблюдений методом дипольного электромагнитного профилирования.....	106
Приложение У (рекомендуемое) Форма полевого журнала для наблюдений полуосей эллипса поляризации методом дипольного электромагнитного профилирования.....	107
Приложение Ф (рекомендуемое) Форма полевого журнала для наблюдений методом переходных процессов в однопетлевом варианте.....	108
Приложение Х (рекомендуемое) Форма полевого журнала для обработки наблюдений методом переходных процессов.....	109
Приложение Ц (рекомендуемое) Форма полевого журнала для наблюдений на одном времени задержки методом переходных процессов в рамочно-петлевом варианте.....	110
Приложение Ш (рекомендуемое) Форма полевого журнала для наблюдений переходных характеристик методом переходных процессов в рамочно-петлевом варианте.....	111
Библиография.....	112

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ

Охрана окружающей среды и природопользование. Недра ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Ахова навакольнага асяроддзя і прыродакарастанне. Нетры ПРАВИЛЫ ПРАВЯДЗЕННЯ ЭЛЕКТРАРАЗВЕДАЧНЫХ РАБОТ

Environmental protection and nature use. Subsoil
Regulations for conducting electro prospecting

Дата введения 2012 -06-01

1 Область применения

Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее – ТКП) устанавливает правила проведения электроразведочных работ, отвечающие современному уровню техники полевых измерений, обработки и интерпретации материалов.

Область действия ТКП – наземные электроразведочные региональные площадные и профильные съёмки масштабов 1:200 000, 1:50 000 и 1:25 000, а также детальные съёмки 1:10 000 и крупнее.

Требования ТКП обязательны для исполнения на территории Республики Беларусь субъектами хозяйствования при производстве электроразведочных работ.

2 Нормативные ссылки

В ТКП использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (далее – ТНПА):

ТКП 17.04-24-2010 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Правила по топографо-геодезическому обеспечению геологоразведочных работ.

ТКП 45-4.01-199-2010 (02250) Скважинные водозаборы. Правила проектирования
ТКП 181-2009 (02230) Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей

СТБ П 8021-2003 (РМГ 29-99) Система обеспечения единства измерений Республики Беларусь. Метрология. Основные термины и определения.

Примечание – При пользовании настоящим ТКП целесообразно проверить ТНПА по каталогу, составленному по состоянию на 1 января текущего года и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году.

Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании настоящим техническим кодексом следует руководствоваться замененными (измененными) ТНПА. Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем техническом кодексе применяются термины, установленные в [1] - [8], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 аномалия электрическая: Отклонение электромагнитного поля, наблюдаемого в электрически неоднородной среде, от его нормального значения, вызываемое различными геологическими образованиями, отличающимися от вмещающих горных пород по своим электрическим свойствам.

3.2 кажущееся сопротивление: Наблюденное электрическое поле, нормированное по параметрам установки таким образом, чтобы в однородном полупространстве кажущееся сопротивление совпадало с удельным сопротивлением.

3.3 контрольные измерения: Систематические независимые физические наблюдения по отдельным профилям (точкам зондирований), включающие законченный комплекс измерений на координатных пунктах наблюдений, выполненные в другой период времени

3.4 повторные измерения: Систематические повторные измерения, выполняемые для подтверждения основных измерений, выполняемые в тот же день без перемещения (повторной размотки) всей установки

3.5 магнитотеллурическое зондирование; МТЗ: Метод исследования внутреннего строения Земли, основанный на изучении естественного переменного электромагнитного поля Земли.

3.6 разносы установки: Расстояния между питающими электродами или между питающими и приемными линиями.

3.7 удельное электрическое сопротивление: Параметр, характеризующий способность вещества проводить электрический ток.

3.8 установка: Термин, используемый в электроразведке для обозначения взаимного расположения питающих (А, В) и приемных (М, N) электродов.

3.9 электродвижущая сила; ЭДС: Разность электрического потенциала между двумя точками проводника, передающего постоянный ток с силой 1А, если мощность, рассеиваемая участком проводника заключенным между этими двумя точками, равна 1Вт.

3.10 электрическое сопротивление: Сопротивление между двумя точками проводника, в котором приложение постоянной разности электрических потенциалов в 1В между этими точками приводит к созданию между ними постоянного электрического тока равного 1А, причем проводник не содержит какого-либо источника электродвижущей силы.

3.11 электроразведка: Метод электроразведки, основанный на измерении величин кажущегося электрического сопротивления в зависимости от разносов питающих и приемных электродов.

3.12 электропрофилирование: Метод электроразведки, основанный на измерении кажущегося удельного электрического сопротивления с фиксированным взаимным расположением питающих и измерительных электродов, перемещаемых через определенный интервал вдоль некоторого прямолинейного маршрута.

3.13 эталонирование: Совокупность операций, необходимых для определения значений погрешностей средств измерений (и, при необходимости, определения других метрологических характеристик).

4 Обозначения и сокращения

В ТКП применяют следующие обозначения и сокращения:

GPS-комплекс: Геодезические аппаратно-программные комплексы для определения координат, использующие данные искусственных спутников Земли.

БИЭП: Бесконтактное измерение электрического поля

ВП: Вызванная поляризация

ВЭЗ: Вертикальное электрическое зондирование

ГГФ: Государственный геологический фонд

ДИП: Дипольное индукционное профилирование

ДЭМП: Дипольное электромагнитное профилирование

ДЭП: Дипольное электропрофилирование

ЕП: Естественное поле
ЕЭП: Естественное электрическое поле
ЗМПП: Зондирование методом переходных процессов
ЗС: Зондирование становлением электромагнитного поля
ЗСБ: Зондирование становлением электромагнитного поля в ближней зоне
ЗСД: Зондирование становлением электромагнитного поля в дальней зоне
КМТЗ: Комбинированное магнитотеллурическое зондирование
КМТП: Комбинированное магнитотеллурическое профилирование
КЭП: Комбинированное электрическое профилирование
МВЗ: Магнитовариационное зондирование
МВП: Магнитовариационное профилирование
МЗ: Метод заряда
МЗМП: Метод заряда с измерением магнитного поля
МЗЭП: Метод заряда с измерением электрического поля
МПП: Метод переходных процессов
МПП-А: Метод переходных процессов аэро
МППР: Метод переходных процессов рамочно-петлевой
МПП-С: Метод переходных процессов скважинный
МППО: Метод переходных процессов однопетлевой
МТЗ: Магнитотеллурическое зондирование
МТП: Магнитотеллурическое профилирование
МЭК: Метод электрической корреляции
СГ: Срединный градиент
СМПП: Соосная модификация метода переходных процессов
СЭП: Симметричное электрическое профилирование
ТТ: Теллурические токи
ЭЗ: Электрическое зондирование
ЭМП: Электромагнитное профилирование
ЭП: Электрическое профилирование

5 Общие положения

5.1 Задачи электроразведки и виды электроразведочных работ

5.1.1 Электроразведка предназначена для решения широкого круга геологических задач и объединяет группу методов прикладной геофизики, основанных на наблюдении и изучении особенностей распределения характеристик электромагнитных полей естественного или искусственного происхождения, обусловленного дифференциацией горных пород и руд по физическим свойствам (удельной электропроводности, диэлектрической проницаемости, магнитной проницаемости, вызванной поляризуемости и др.).

5.1.2 Методы электроразведки применяются для решения ряда специальных задач (геологического картирования, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, при гидрогеологических, инженерно-геологических изысканиях и различного рода специальных съемках, в частности археологических).

Методы электроразведки направлены на решение геологических задач способами, основанными на изучении и анализе электромагнитных полей на земной и водной поверхности, в скважинах, шахтах, в атмосфере, а также на изучении физических свойств горных пород и руд.

5.1.3 В зависимости от поставленной задачи и конкретной геологической обстановки в работах по одному и тому же методу используются различные установки для наблюдений. Производимое по этому признаку более дробное деление метода носит название его модификации.

ТКП 17.04-40-2012

5.1.4 Наличие большого числа геологических объектов с самыми различными свойствами, а также разнообразие источников и наблюдаемых характеристик поля привели к созданию ряда методов электроразведки. В зависимости от методов электроразведка делится на:

- наземную,
- скважинную,
- изучение электрических и магнитных свойств горных пород и руд.

5.1.5 Наземная электроразведка включает в себя:

- метод естественного электрического поля;
- метод заряда;
- метод электропрофилирования;
- метод электрического зондирования;
- метод вызванной поляризации;
- магнитотеллурические методы;
- метод зондирования становлением электромагнитного поля;
- метод электромагнитного профилирования.

5.1.6 Скважинная электроразведка включает в себя:

- метод электрической корреляции;
- скважинный вариант метода вызванной поляризации.

5.1.6.1 Методы скважинной электроразведки широко применяются на всех этапах и стадиях геологоразведочных работ – от геологического изучения недр и поисков в масштабах 1:25000 – 1:50000 до детальной разведки включительно и почти на всех типах месторождений.

5.1.6.2 Методами скважинной электроразведки решаются следующие задачи:

1) Изучается структура месторождения, прослеживаются простирание и направление падения пород, увязываются литологические прослои, выявляются складки, тектонические нарушения и дайки. Для решения этих задач применяются в основном методы скважинной электроразведки постоянным (низкочастотным) током, радиоволновые методы.

2) Ведутся поиски и оконтуривание в межскважинном и околоскважинном пространстве объектов, обладающих высокой удельной электропроводностью, колчеданных, колчеданно-полиметаллических, магнетитовых рудных тел и, реже, зон графитизации, с которыми бывают связаны урановые, полиметаллические и другие месторождения. Производится оценка размеров рудных тел. Для решения этой задачи применяются методы скважинной электроразведки постоянным током, дипольное электромагнитное профилирование, радиоволновые методы, скважинный вариант метода естественного электрического поля, скважинные варианты методов переходных процессов, вызванной поляризации.

3) Выполняются поиски и оконтуривание зон сульфидной вкрапленности. Основным здесь является метод вызванной поляризации.

5.1.6.3 При поисках месторождений с использованием картировочных и одиночных поисковых скважин основное значение в комплексе с методом заряда имеют скважинные варианты методов ВП, ЕП и поисково-картировочный вариант метода электрической корреляции. При оценке рудопроявлений и разведке месторождений используются все методы скважинной электроразведки.

5.1.7 Выбор методов и методик проведения полевых работ, интерпретации результатов полевых измерений основан на знании и изучении электрических и магнитных свойств горных пород и руд (удельной электропроводности, магнитной проницаемости, диэлектрической проницаемости, анизотропии, вызванной поляризуемости).

Группу методов, основанную на изучении удельной электропроводности, иногда называют методом сопротивлений.

Различают группы методов, основанные на изучении электромагнитных полей естественных и искусственных источников поля, а среди последних - подгруппы, основанные на изучении частотных характеристик гармонических полей или переходных характеристик импульсных полей.

5.1.8 Изучение свойств производится как на обнажениях (параметрические измерения), так и на образцах в лабораторных условиях. В помощь интерпретации выполняется моделирование.

5.2 Применение методов электроразведки в комплексе с другими геофизическими и геологическими методами

5.2.1 Геологическое картирование, поиски и разведка месторождений полезных ископаемых требуют комплексирования различных методов геологоразведочного производства с целью полного, достоверного, быстрого и экономичного решения геологических задач. Геофизические методы, в том числе электроразведка, являются частью общего геологоразведочного комплекса, представленного геологическими, геофизическими, геохимическими и технико-механическими (бурение, проходка горных выработок) методами и средствами.

5.2.2 Место электроразведочных работ в общем комплексе геологических исследований и их конкретные задачи определяются в каждом случае исходя из реальной геолого-геофизической обстановки, возможностей методов и решения поставленных задач в данных условиях, экономической целесообразности их применения с учетом стадии работ.

5.2.3 Геофизические, в том числе электроразведочные, исследования на этапах регионального геологического изучения, поисковых и разведочных работ выполняются планомерно с постепенным охватом всей площади исследуемого региона и последовательным укрупнением масштаба детальности исследований.

Методы электроразведки являются ведущими при изучении площадей рудных районов, сложенных слабомагнитными и слабоконтрастными по плотности метаморфическими и осадочными комплексами пород при наличии разницы в электрических свойствах, а также для решения задач структурного картирования, при работах на угольных месторождениях, гидрогеологических и инженерно-геологических изысканиях.

5.2.4 Ведущим геофизическим методом на этапах поисков и разведки рудных месторождений является электроразведка. Наиболее широко применяются методы электропрофилирования, заряда, вызванной поляризации, переходных процессов в различном их сочетании, с помощью которых решаются разнообразные задачи - от детального изучения морфологии рудовмещающих и рудоконтролирующих структур до выделения отдельных рудных тел и определения их размеров и элементов залегания.

Наземные геофизические работы следует рационально сочетать со скважинными геофизическими исследованиями с целью обнаружения рудных тел в межскважинном пространстве, корреляции рудных интервалов, оценки распространения оруденения на глубину, изучения морфологии рудных тел скважинной электроразведкой методами естественного электрического поля, вызванной поляризации, переходных процессов, электрической корреляции и радиоволнового просвечивания.

5.2.5 Рациональный выбор методов, правильное их использование и интерпретация результатов наблюдений основываются на знании электрических, магнитных и поляризационных свойств горных пород и особенностей их изменения в разрезе. Поэтому рекомендуется проводить сбор и изучение данных по электрическим свойствам горных пород, слагающих район исследования, на всех стадиях применения электроразведочных работ.

5.2.6 Определяющее значение при выборе рационального комплекса имеют размеры, форма, физические свойства и глубина залегания геологических объектов и

месторождений полезных ископаемых с учетом требований промышленности.

5.2.7 Конечной целью геофизических работ являются картирование и изучение геологических объектов, поиски рудных полей, месторождений и отдельных залежей, оконтуривание и оценка выявленных рудных объектов, а также решение горнотехнических задач.

5.3 Виды и масштабы электроразведочных съемок. Сети наблюдений

5.3.1 Электроразведочные съемки делятся на маршрутные и площадные.

5.3.1.1 Маршрутные съемки используют при рекогносцировке района работ, в том числе для решения опытно-методических вопросов, или получении общих сведений о геоэлектрической характеристике района работ. Площадные съемки являются основным видом электроразведочных работ.

Различают основную (или общую) съемку, перекрывающую всю исследуемую площадь, и детализационную, как правило, более крупномасштабную, которую используют с целью получения дополнительной геологической информации в пределах относительно небольших участков площади общей съемки. Профили наземных работ при основной съемке называют рядовыми, или рабочими.

5.3.1.2 Площадные электроразведочные съемки различаются:

1) по геологическим задачам - картировочные, поисковые, разведочные, картировочно-поисковые, поисково-разведочные, гидрогеологические, инженерно-гидрогеологические, специальные и т. д.;

2) по масштабам - мелкомасштабные, среднемасштабные, крупномасштабные и детальные;

3) по точности - выделяют те участки, где за счет методических приемов и аппаратурных средств повышают точность работ.

5.3.2 С целью контроля проводятся измерения по отдельным профилям.

5.3.3 При производстве площадных работ методами электроразведки масштабы определяются поставленными задачами, характером и условиями залегания объекта исследований, а также масштабами геологических исследований, ведущихся в районе. Масштаб съемки должен соответствовать масштабу окончательных карт основных геологических результатов работ или быть на разряд крупнее.

5.3.4 Расстояние между профилями и точками наблюдений определяется масштабом съемки и конкретной геологической задачей, особенностями геологического строения и возможностями различных электроразведочных методов. Ориентировочные сведения по масштабам и расстояниям между точками наблюдений приведены в приложении А.

5.3.5 При выборе сети наблюдений электроразведочных работ, проводимых в помощь геологическому картированию в масштабах 1:25000-1:200000, следует руководствоваться установленными требованиями к точности нанесения геологических объектов на геологические карты.

5.3.6 При выборе масштабов и сети точек наблюдения расстояния между профилями задаются такими, чтобы искомый объект (рудные тела, структуры т. д.) минимальных размеров мог быть четко отмечен не менее чем на двух профилях. При прослеживании выявленных или известных объектов расстояние между профилями определяется необходимой степенью детальности их изучения.

5.3.7 Детализационные работы на участке выявленных аномалий ведутся, как правило, в следующем по крупности масштабе. На основании результатов детализационных работ с учетом данных других методов (если таковые ставились) производится задание горных выработок.

При выборе сети электроразведочных наблюдений можно руководствоваться также существующими методами аналитического расчета полей над локальными геологическими объектами.

6 Правила проведения электроразведочных работ

6.1 Проектирование работ

6.1.1 Электроразведочные работы ведутся по проекту, составляемому в виде или самостоятельного документа для отдельно действующей партии, или специального раздела проекта для партии (отряда) комплексной геофизической, геолого-съёмочной или геологоразведочной экспедиции (партии). В составлении проекта работ должны, как правило, принимать участие основные исполнители полевых работ.

6.1.2 Проектирование электроразведочных работ осуществляется в соответствии с [9], в том числе с ТНПА в области рационального природопользования и охраны окружающей среды Республики Беларусь, настоящим ТКП, а также приказами и распоряжениями министерств и ведомств республики.

6.1.3 Основанием для проектирования электроразведочных работ отдельно действующей партии является установленное вышестоящей организацией геологическое задание на проект работ и техническое задание на работы, выполняющиеся комплексными геофизическими или геологоразведочными партиями (экспедициями).

6.1.4 Под объектом геофизических работ понимается территория (район, участок), геофизическая аномалия, структура, рудное поле, геологическое тело (или его часть), в пределах которых в соответствии с геологическим (техническим) заданием и проектом предусматривается проведение работ необходимой детальности одним или несколькими видами электроразведочных исследований, обеспечивающими максимально однозначное решение поставленной геологической задачи.

6.1.5 Название проекта на электроразведочные работы должно соответствовать геологическому (техническому) заданию и отражать наименование этапа и стадии проведения геологоразведочных работ в соответствии с [1].

6.1.6 Проектная документация на проведение электроразведочных работ представляет собой комплект документов, состоящий из методической и производственной частей, сметы, текстовых, табличных и графических приложений, обосновывающий рациональный комплекс работ для выполнения геологического задания

6.1.6.1 Методическая часть содержит следующие разделы: геологическое задание; географо-экономическая характеристика района работ; обзор, анализ и оценка ранее выполненных работ; геологическая и геофизическая характеристика объекта работ; методика и объемы проектируемых работ и требования к их качеству.

6.1.6.2 В производственной части проекта излагаются вопросы организации работ, техника их проведения, мероприятия по технике безопасности и охране окружающей среды, включая охрану недр, рекультивацию земель, а также приводятся все необходимые технические и технико-экономические расчеты.

6.1.7 При проектировании электроразведочных работ излагаются геологические задачи, подлежащие решению, выбирается и экономически обосновывается рациональный комплекс геофизических методов и видов проверочных работ. Определяются объемы производственных и опытно-производственных (методических) работ по каждому методу. Обосновываются сеть наблюдений, тип, схема и размеры установок, условия заземления питающих электродов и число измеряемых параметров, порядок контроля за качеством с указанием необходимого объема повторных и контрольных измерений. Обосновываются категории трудности, способ размотки и смотки проводов и другие нормобразующие факторы, определяющие условия проведения работ.

Любые отклонения от требований настоящего ТКП должны быть обоснованы проектом работ. Разделы проекта должны быть предельно краткими.

6.1.8 В зависимости от реальной обстановки и получаемых результатов при проведении полевых работ допускаются, как исключение, отступление от проекта. При

этом изменения, касающиеся методики съемки и техники наблюдений, густоты сети или направления профилей, не снижающие или улучшающие качество съемки, повышающие производительность труда и снижающие себестоимость работ в пределах утвержденных проектом технических условий, рассматриваются протоколом производственно-технического совета организации, проводящей работы.

Изменения целевого назначения, геологических задач, перемещение участков съемки, а также полное прекращение или частичное сокращение работ могут быть осуществлены только после согласования с вышестоящей организацией и должны быть оформлены в виде дополнений к основному проекту, утвержденных руководителем организации.

6.2 Организация работ

6.2.1 Электроразведочные работы выполняются электроразведочными структурными подразделениями геологической организации (партия, отряд). В зависимости от объема и характера работ электроразведочная партия может быть одно- или многоотрядной, а отряд, как правило, одноприборным.

6.2.2 Инженерно-технический состав партии (отряда) комплектуется из работников следующей номенклатуры: начальник партии (отряда), главный (ведущий) геофизик, геофизик (инженер-оператор, инженер-интерпретатор), техник I, II категорий (оператор, вычислитель), техник (оператор, вычислитель), специалисты смежных специальностей (геологи, геодезисты, топографы, петрографы и др.).

6.2.3 Начальник партии (отряда) несет ответственность за ее работу с момента организации и до окончания работ, включая составление и сдачу окончательного отчета. Начальник партии (отряда) обеспечивает решение поставленных геологических задач в полном объеме, выполнение работ в соответствии с проектной документацией и требованиями нормативных правовых актов, осуществляет контроль качества работ и за своевременным составлением отчетов и документов.

Начальник партии (отряда) обязан регулярно, не реже одного раза в месяц, производить приемку всех полевых материалов с оценкой их качества и подсчетом подлежащего активированию объема выполненных работ. Начальник партии (отряда) вносит в установленном порядке руководителю организации (предприятия) предложения по уточнению и изменению проектной документации, необходимость которых вытекает из полученных результатов проведенных исследований, а в случае выяснения явной нецелесообразности дальнейшего продолжения работ - предложения об их прекращении.

6.2.4 Главный (ведущий) геофизик следит за правильностью ведения работ в методическом и техническом отношении, обеспечивает контроль за качеством измерений и наблюдений, правильностью ведения технической документации; руководит обработкой, интерпретацией и оформлением материалов; участвует в составлении отчетности по деятельности партии (отряда). В тех партиях (отрядах), где должность главного (ведущего) геофизика не предусматривается, его функции выполняет начальник партии (отряда).

6.2.5 Начальник партии (отряда) и главный (ведущий) геофизик принимают меры по обеспечению партии (отряда) необходимыми НПА, в том числе ТНПА устанавливающими требования к производству работ; организуют, в случае необходимости, обучение сотрудников работе с новой аппаратурой; проводят систематическую работу по повышению квалификации персонала партии.

Начальник и главный (ведущий) геофизик партии (отряда) обязаны ознакомить сотрудников партии (отряда) с проектной документацией на производство работ.

6.2.6 Инженер-оператор несет ответственность за рабочее состояние аппаратуры, технически и методически правильное производство наблюдений с конкретной аппаратурой, обеспечивающее качественное выполнение требований работ.

Инженер-оператор организует всю работу и руководит ею на участке, производит наблюдения, следит за правильностью и полнотой документации, руководит первичной

обработкой материалов, ежедневно ведет дневник в соответствии с приложением Б, регулярно передает начальнику партии (отряда) или инженеру-интерпретатору полевую документацию, принимает участие в камеральной обработке материалов, в составлении отчетов, а также в ремонте и наладке аппаратуры.

6.2.7 Техник I, II категорий (техник-оператор), работающий в качестве помощника инженера-оператора, непосредственно участвует в работе, следит за правильностью действий рабочих на установках, поддерживает в исправном состоянии аппаратуру и оборудование, принимает участие в их ремонте, под руководством инженера-оператора ведет документацию полевых наблюдений и полевую графику.

Техник I, II категорий (техник-оператор), работающий самостоятельно, выполняет все обязанности, указанные для инженера-оператора в 6.2.6.

6.2.8 Инженер-интерпретатор непосредственно руководит камеральной обработкой материалов. Совместно с начальником и главным (ведущим) геофизиком партии (отряда) или по их поручению производит приемку полевой документации полевых отрядов, руководит обработкой и осуществляет интерпретацию материалов, принимает участие в составлении текущей и окончательной отчетности и отвечает за правильность оформления всех отчетных материалов партии (отряда) наряду с начальником и главным (ведущим) геофизиком партии (отряда).

6.2.9 Техник I, II категорий (техник)-вычислитель, работающий в поле под руководством инженера (техника I, II категорий), ведет полевую документацию и графику. Техник I, II категорий (техник)-вычислитель, работающий в камеральном бюро, действует под руководством инженера-интерпретатора, производит контрольные вычисления, построение и вычерчивание (при отсутствии картографа) необходимых графиков и карт, выполняет другие работы по обработке и интерпретации полевых материалов.

6.2.10 Формы журналов, титульного листа журналов и оглавление в соответствии с приложением В.

7 Методика и техника проведения полевых электроразведочных работ

7.1 Технические средства для проведения электроразведочных работ

7.1.1 Основными техническими средствами для проведения электроразведочных работ являются измерительные и генераторные устройства и комплексные электроразведочные станции, а также вспомогательное оборудование: электроды, контрольно-измерительная аппаратура, лебедки, комплекты кабелей, аппаратура телефонной и радиосвязи, источники питания и т. п.

7.1.2 По эксплуатационному назначению электроразведочная аппаратура делится на наземную, скважинную, шахтно-скважинную, а также для изучения электрических и магнитных свойств.

7.1.3 Использование электроразведочной аппаратуры допускается только по ее целевому назначению. Все виды работ с аппаратурой (эксплуатация, ремонт, наладка, транспортировка и т.д.) должны выполняться в строгом соответствии с требованиями эксплуатационной и ремонтной документации. Персонал, обслуживающий электроразведочную аппаратуру и оборудование, должен иметь на них соответствующую техническую и эксплуатационную документацию.

К работе с электроразведочной аппаратурой допускаются только лица, прошедшие соответствующий инструктаж.

7.1.4 Электроразведочные партии (отряды) в соответствии с видом работ обеспечиваются необходимыми топографо-геодезическими инструментами и аппаратурой. Партии (отряды), которыми наряду с электроразведочными работами производится каротаж скважин, снабжаются необходимой каротажной аппаратурой и оборудованием.

7.1.5 При получении со склада аппаратуры, оборудования и материалов их

ТКП 17.04-40-2012

техническое состояние должно быть проверено начальником партии или лицом, ответственным за его техническое состояние. Аппаратура, полученная со склада, должна быть отрегулирована, испытана и иметь паспорта установленной формы. Принимаемая электроразведочная аппаратура и оборудование по комплектности и состоянию должны удовлетворять паспортным данным и требованиям настоящего ТКП. К приборам прилагаются запчасти и принадлежности, необходимые для нормальной эксплуатации.

Приборы не должны иметь внешних повреждений. Все электрические контакты должны быть надежными, а клеммы, гнезда, вилки и т. п. не иметь следов загрязнения и коррозии.

7.1.6 Вскрытие и ремонт аппаратуры могут производиться только в условиях полевых или стационарных мастерских лицами, допущенными к ремонту радиоаппаратуры. Результаты каждого вскрытия, проверки и ремонта заносятся в формуляр прибора и паспорт (или журнал) технической эксплуатации.

7.1.7 Отдельные типы вновь выпускаемой аппаратуры относятся к средствам измерения и должны проходить соответствующую метрологическую аттестацию. Метрологические характеристики приборов, не относящихся к категории средств измерения и не подлежащих аттестации, подвергаются поверке в полевых или стационарных лабораториях в соответствии с регламентом по методике, указанной в инструкции по их эксплуатации. Результаты каждой поверки заносятся в журнал (паспорт) технической эксплуатации и в формуляр.

7.1.8 Кроме основной электроразведочной аппаратуры полевые партии должны быть снабжены источниками питания, кабелями, вспомогательной аппаратурой, оборудованием, материалами и инструментом.

7.1.9 Для геофизических работ промышленностью выпускаются провода различных марок, удовлетворяющие основным требованиям выполнения полевых работ.

7.1.10 При производстве электроразведочных работ необходимо тщательное выполнение требований межотраслевых правил по охране труда в электроустановках, ТКП 181, инструкций по технике безопасности для рабочих применительно к их профессии, разделов «Требования безопасности» в эксплуатационной документации на конкретное оборудование.

7.2 Топографо-геодезическое обеспечение электроразведочных работ

7.2.1 Топографо-геодезическое обеспечение электроразведочных работ включает:

- перенесение в натуру проекта расположения пунктов наблюдений (разбивки магистралей, профилей и т. п.);
- закрепление определенных пунктов соответствующими знаками;
- определение планового положения и высот пунктов наблюдений;
- составление топографической основы для отчетных карт;
- технический контроль и оценку точности выполнения работ.

7.2.2 Топографо-геодезическое обеспечение должно опережать электроразведочные работы или проводиться одновременно с ними, что регламентируется графиком проведения работ партии (отряда). Результаты работ отражаются в соответствующих разделах отчета партии (отряда).

7.2.3 Для проведения топографо-геодезических работ используются GPS-комплексы, угломерные и дальномерные приборы (нивелиры, дальномеры), рейки и другое оборудование в соответствии с требованиями действующих наставлений по топографо-геодезическому обеспечению геологоразведочных и геофизических работ.

7.2.4 Характер топографо-геодезических работ, их объем, точность и последовательность выполнения определяются при проектировании электроразведочных исследований с учетом конкретных условий (наличие топографических карт, топогеодезических пунктов, степень пересеченности местности и т. д.).

7.2.5 Топографо-геодезические работы ведутся в соответствии с ТКП 17.04-24-

2010(02120).

7.2.6 Электроразведочные партии должны иметь топографические карты тех масштабов, в которых ведутся геофизические работы. При отсутствии соответствующих топогеодезических карт возможно использование карт других масштабов, выбранных как можно ближе к заданному. Однако это должно быть особо оговорено в проекте электроразведочных работ.

7.2.7 Точки наблюдений закрепляются на местности при разбивке сети; точки, дополнительно выявленные в результате электроразведочных работ, - одновременно с завершением работ на планшете (участке).

7.2.8 Если по характеру электроразведочных работ окажутся целесообразными отступления от приведенных выше требований к топографо-геодезическим работам, изменения методики и техники последних обосновываются соответствующими изменениями (дополнениями) к проекту электроразведочной партии (отряда) и согласовываются в установленном порядке.

7.2.9 До окончания топографо-геодезических работ на объекте электроразведочные работы считаются незавершенными.

8 Методы наземной электроразведки

8.1 Метод естественного постоянного электрического поля

8.1.1 Метод естественного постоянного электрического поля (ЕЭП) применяется для поисков и разведки сульфидных месторождений, графитовых залежей и пластов антрацита и при геологическом картировании (по графитизированным и пиритизированным толщам пород), а также при решении некоторых гидрогеологических задач (определение направления подземных потоков, выявление мест фильтрации воды из водохранилищ и др.). Необходимым условием для постановки работ методом ЕЭП является наличие геологической, гидрогеологической и гидрохимической обстановки, благоприятствующей созданию достаточно интенсивных естественных электрических полей. Препятствием для применения метода являются блуждающие токи.

8.1.2 Работы по методу ЕЭП проводятся наиболее часто в масштабах 1:10000 - 1:25000 - 1:50000. В отдельных случаях, например при маршрутных съемках, они могут выполняться в более мелких масштабах.

Профили разбиваются вкрест известного или ожидаемого простираения изучаемых объектов.

8.1.3 Наблюдения, как правило, производятся по способу потенциала. Способ градиента применяется лишь в условиях, когда вследствие влияния помех (блуждающие и меняющиеся во времени поля и теллурические токи) измерение потенциала невозможно, и в отдельных случаях при маршрутных работах (например, при изучении коррозии трубопроводов) и т. д.

8.1.4 Наблюдения ведутся с относительно простой аппаратурой (цифровая электроразведочная аппаратура типа ЭРА, ЭРП-1, электронные компенсаторы типа АЭ-72 и т. п.). В качестве заземлений используются неполяризующиеся электроды, для соединения установки - легкие провода типа ГПСМПО, ПСРП и др. Работа с приборами осуществляется в соответствии с требованиями заводских инструкций.

8.1.5 При работе методом ЕЭП особое внимание обращается на состояние неполяризующихся электродов. Разность потенциалов между парой работающих электродов (собственная поляризация электродов) не должна превышать первых единиц милливольт (1-2 мВ) и должна быть устойчивой во времени. Для выполнения этого требования медные неполяризующиеся электроды должны заливаться химически чистым раствором медного купороса. Для изготовления раствора применяется дистиллированная (или чистая дождевая) вода. Все работающие на профиле электроды должны заливаться из одной порции раствора медного купороса. Необходимо следить, чтобы при залитых

электродах медные стержни были всегда целиком погружены в раствор медного купороса. Пробка электрода при завинчивании должна иметь резиновое уплотнительное кольцо. Для уменьшения фильтрации раствора медного купороса из пористого сосуда рекомендуется приготовить его с агар-агаром.

Верхняя часть корпуса электрода, пробка и соединительные вилки должны быть сухими и чистыми.

Необходимо следить, чтобы на профиле работающие в паре электроды имели по возможности близкие температуры; в жаркую погоду электроды следует предохранять от прямых солнечных лучей.

Во время перерывов в наблюдениях электроды содержатся в идентичных условиях (устанавливаются рядом в одной лунке).

8.1.6 Подготовка электродов к работе проводится на базе партии. Керамическую часть электрода погружают на 1-1,5 суток в воду для пропитывания. Медные стержни зачищаются мелкой шлифовальной шкуркой, протираются ваткой и свинчиваются с керамической частью, предварительно заполненной раствором медного купороса.

Собственная поляризация электродов измеряется путем наблюдения разности потенциалов между электродами, попарно поставленными на расстоянии 10-15 см друг от друга во влажную землю. Если увлажнение делается путем полива, то его производят за 1,5-2 ч до эксперимента.

Устойчивость поляризации проверяется путем многократных (по 5-10 раз) наблюдений с перестановкой и встряхиванием электродов. Изменение поляризации между измерениями не должно превышать 1-2 мВ.

Если электроды не удовлетворяют этим требованиям, применяют меры по приведению их в рабочее состояние. Прополаскивают медные стержни в 15 %-ном растворе азотной кислоты, проверяют герметичность изоляции медных стержней, герметичность закрытия электрода пробкой с медным стержнем. В случае необходимости стержни электрода покрывают электролитическим слоем меди.

8.1.7 Отряд (бригада), работающий на профиле, должен иметь комплект неполяризующихся электродов (три-четыре штуки) и раствор медного купороса (0,5-0,7 литра). Для работы на профиле из комплекта электродов выбирают такую пару, которая дает минимальную и наиболее устойчивую поляризацию. Изменение поляризации электродов должно быть малым и не влиять на характер наблюдаемого поля.

8.1.8 Для измерения разности потенциалов между двумя точками профиля неполяризующиеся электроды устанавливают в лунки с разрыхленной почвой и плотно обжимают (вся пористая часть электрода должна находиться в контакте с почвой). При сухой почве лунки за 0,5-1 ч до наблюдения поливают водой (независимо от входного сопротивления измерителя). При работе на скальном грунте заземления делают в рыхлой (переносной) почве, которая за 0,5-1 ч до измерений поливается водой до полного увлажнения. Если вблизи точки заземления имеются участки с растительным слоем, заземления устраивают на них.

8.1.9 Измерения в модификации потенциала ведут с магистральной точки профиля, на которой устанавливаются измерительный прибор и катушка с проводом.

Неподвижный электрод (всегда *N*) располагается вблизи магистральной точки профиля. Измерения начинаются с магистральной точки, на которой устанавливается подвижный электрод (всегда *M*), перемещаемый по профилю.

Наблюдения ведутся поочередно или одновременно на обеих сторонах профиля (в последнем случае используются две приемные линии). По окончании наблюдений на последней точке каждой из сторон профиля производится намотка проводов на катушку с остановками для повторных наблюдений. Последнее повторное измерение производится при установке подвижного электрода *M* на магистральной точке.

При работе с проводами малой прочности (тонкий хлорвиниловый провод с медными жилами), а также в сильно пересеченной или залесенной местности, когда управление с

магистральной точки профиля затрудняется, катушки с проводом и измерительный прибор находятся около подвижного электрода M и перемещаются вместе с ним. Свободный конец провода при этом закрепляется у нулевой точки и присоединяется к неподвижному электроду N . По окончании наблюдений на профиле бригада возвращается к начальной точке, производя смотку провода и повторные наблюдения. Повторные измерения проводятся через 10 точек в спокойном поле и через 5 - в аномальном.

8.1.10 На больших планшетах, в условиях интенсивных и промышленных помех, а также при маршрутных съемках, когда длина провода на катушке мала по сравнению с длиной профиля, наблюдения проводятся по интервально.

В каждом интервале измерение поля ведется при одном положении неподвижного электрода N , допускаются работы с двумя линиями в ту и другую стороны от электрода N . Точка стояния неподвижного электрода выбирается так, чтобы последующий интервал перекрывался с предыдущими тремя — пятью точками (перекрытие).

При смотке провода производятся повторные наблюдения.

8.1.11 Собственная поляризация электродов измеряется до и после работы на каждом профиле или на каждой стороне профиля в соответствии со схемой наблюдений.

8.1.12 При переходе с профиля, на котором закончены наблюдения, на следующий производится увязка значений поля между профилями по магистральным точкам (точкам стояния неподвижного электрода N на профилях).

По окончании наблюдений на всех профилях планшета производится повторная увязка значений поля всех профилей по магистрали. Электрод N при этом по возможности остается в одной точке. Если длина провода мала, то увязка продолжается относительно вновь выбранной магистральной точки с таким расчетом, чтобы с этой точки была повторена увязка трех - пяти профилей. Повторная увязка по магистрали производится дважды - при прямом и обратном ходах.

При длинных профилях (2 км и более) необходимо производить увязку и по крайним точкам профилей. Если на одном участке расположено несколько планшетов, то измеряемые на них естественные поля приводятся к одному уровню (производится увязка поля планшетов) по аналогии с увязкой поля по профилям. При наличии на участке съемки электрических помех для получения надежного результата увязка производится многократно.

На планшете работ методом ЕЭП необходимо иметь одну-две точки, выбранные в спокойном поле и долговременно закрепленные на местности, значения поля в которых увязаны со значениями поля на участке.

8.1.13 Перед построением графиков естественного поля по планшету все наблюденные его значения на профилях должны быть пересчитаны к значению поля в одной точке планшета (обычно к магистральной точке одного из профилей). Увязка значений поля планшетов между собой производится путем поднятия или опускания графиков поля одного планшета относительно графиков поля другого планшета на значение среднего смещения в точках перекрытия (обычно три - пять точек).

8.1.14 Детализационные работы на выявленных аномалиях должны производиться сразу после съемки планшета или той его части, в пределах которой оконтуривается аномалия. При детализационных работах в пределах небольших планшетов наблюдения проводятся с одной точки стояния электрода N . В этом случае результаты наблюдений получаются увязанными,

8.1.15 Наблюдения в модификации градиента ведутся по замкнутым полигонам, каждый из которых представляет собой два профиля, увязанных по магистрали и крайним точкам. Наблюдения производятся с перестановкой электродов через один пикет (при переходе передний электрод остается на месте, задний переносится через два интервала вперед). При переходе с точки на точку подключение проводов к прибору не меняется. Провод, подключенный к клемме M прибора, всегда направлен вперед по ходу

профиля. Возможен и другой способ измерений - с одновременным перемещением обоих электродов, что особенно существенно для лесистой местности. Повторные наблюдения выполняются через 10 точек в спокойном поле, через 5 - в аномальном. Собственная поляризация электродов измеряется через 1 км профиля.

8.1.16 Оценка повторяемости (сходимости) наблюдений при работах в модификации потенциала производится по средней разности между основными и повторными наблюдениями. Средняя разность по планшету не должна превышать 5 мВ. Расхождение наблюдений на отдельных точках при этом не должно превышать 15 мВ, в аномальных точках ± 15 % от измеряемого значения.

При наличии на участке работ резко меняющихся во времени аномалий (до 20-30 мВ/сут. и более) область распространения последних при расчете средней погрешности во внимание не принимается (наличие таких аномалий должно быть документально установлено в результате неоднократных наблюдений).

8.1.17 При работах в модификации градиента потенциала оценка точности наблюдений производится по величине невязки, которая не должна превышать 5 % суммы абсолютных значений измеренных градиентов (разностей потенциалов) по полигону. Расхождение наблюдений на отдельных точках в спокойном поле не должно превышать 5 мВ, в аномальных полях - 15 мВ.

В тех случаях, когда потенциал не вычисляется, оценка точности наблюдений производится по среднему расхождению основных и повторных наблюдений разности потенциалов, которое не должно превышать 5 мВ по профилю.

8.1.18 Помимо повторных наблюдений, проводимых на каждой 5-й или 10-й точке, необходимо вести специальные контрольные наблюдения: на профилях, когда по характеру кривые существенно отличаются, от соседних, на участках профилей с незакономерным поведением кривых или с большими расхождениями основных и повторных наблюдений, а также в аномальных зонах.

При детализации аномалий основные наблюдения повторяются полностью как на основном, так и на смежном профилях.

Общий объем контрольных наблюдений (не считая повторных) при работах по методу ЭЭП может составлять от 5 до 30 % общего объема работ в зависимости от устойчивости повторяемости (сходимости) результатов наблюдений.

8.1.19 Рекомендуемые формы ведения журнала для полевых наблюдений методом естественного поля (работа в модификации потенциала) и журнала для полевых наблюдений методом естественного поля (работа в модификации градиента потенциала) приведены в приложениях Г и Д соответственно.

8.2 Метод заряда

8.2.1 Общие сведения

8.2.1.1 Метод заряда (МЗ) применяется на этапах поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, если искомый или разведываемый объект обладает повышенной удельной электропроводностью по сравнению с вмещающей средой. Метод позволяет оценивать размеры объекта исследований, элементы залегания, определять наличие связи между отдельными рудопроявлениями, вскрытыми разными выработками, а также проводить поиски новых рудных тел в соседстве со вскрытыми, определять скорость и направление течения подземных вод и т. п.

8.2.1.2 Работы по МЗ проводятся как в крупных (обычно 1:10000 и крупнее), так и в мелких масштабах. Метод заряда различается по типу источника поля (переменный и постоянный ток) и по способу измерения параметров поля (градиента потенциала, потенциала, измерения различных характеристик электромагнитного поля и т. д.).

Наземный и скважинный варианты МЗ используются как самостоятельно, так и комплексно при благоприятных условиях их применения.

8.2.1.3 В зависимости от характера решаемых задач и геолого-геофизических условий в МЗ производятся измерения электрического или магнитного поля тока заряда. Измерение характеристик электрического поля проводится на участках резкой контрастности удельной электропроводности исследуемых объектов и вмещающих пород, если объекты имеют формы вытянутые или близкие к изометрическим (жилы или линзы) и при любом их залегании вплоть до горизонтального. Для успешного проведения работ необходимы хорошие условия заземлений приемной линии. Измерения характеристик магнитного поля заряда проводятся в тех случаях, когда объекты исследования имеют вытянутую (близкую к линейной) форму крутопадающих жил и линз. Измерение характеристик магнитного поля имеет преимущество перед измерением характеристик электрического поля в следующих случаях: если объекты имеют сравнительно низкую удельную электропроводность (неэквипотенциальные проводники), поверхностные образования неоднородны по удельному сопротивлению и мощности; при работах в районах развития разного рода осыпей (т.е. с плохими условиями заземлений); на участках высокого стояния уровня грунтовых вод, а также в зимнее время.

В нормальном поле точечного источника тока отсутствует вертикальная компонента магнитного поля, что позволяет проводить наблюдения чисто аномальных эффектов и повышает эффективность работ методом заряда с измерением магнитного поля при выявлении объектов слабой контрастности по удельному сопротивлению.

8.2.1.4 При измерениях напряженности магнитного поля (Н) может быть использована аппаратура типа ИМА-1, ИКС с входным преобразователем (магнитным индукционным датчиком типа МИД-1) и т.п. Для измерений напряженности как электрического, так и магнитного поля в наземном и скважинном вариантах МЗ применяется аппаратура типа «Лазурит» или аналогичная ей. С помощью этой аппаратуры возможно изучение вещественных компонент трех составляющих магнитного поля синфазных с током в питающей линии. При этом обеспечиваются помехозащищенность и учет знака. Для электрического поля применяют аппаратуру и станции типа ЭРА, ЭРП-1, АЭ-72 и др.

8.2.1.5 Рекомендуемые формы ведения полевого журнала для полевых наблюдений методом заряда при работе в модификации градиента и журнала для полевых наблюдений методом заряда при работе в модификации потенциала приведены в приложениях Е и Ж соответственно.

8.2.2 Метод заряда с измерением характеристик электрического поля

8.2.2.1 В случае применения метода заряда с измерением характеристик электрического поля (МЗЭП) для определения элементов залегания заряженных тел и поисков новых объектов по профилям, ориентированным вкрест преобладающего простирания объектов, на всей исследуемой площади измеряется градиент потенциала. Эти наблюдения являются основными. В отдельных случаях они дополняются измерением потенциала в каждой 5-10-й точках (в качестве опорных), с тем чтобы с учетом значений градиентов потенциала имелась возможность вычислить поле потенциала для всего планшета. Для решения отдельных вопросов, например выяснения связи между двумя или большим количеством вскрытых рудных проявлений, работы могут проводиться по отдельным (одному или нескольким) профилям или буровым скважинам. Простирание вскрытого рудопроявления можно определить путем прослеживания двух-трех изолиний потенциала.

8.2.2.2 Работы по измерению характеристик электрического поля заряда при отсутствии или слабом уровне помех выполняются на постоянном токе, при помехах (особенно на частоте 50 Гц) применяется переменный ток низкой частоты с использованием избирательной помехозащищенной измерительной аппаратуры.

8.2.2.3 Подготовительные работы: устройство удаленного электрода, точек заряда, установку источников питания схемы, подготовку и раскладку проводов - рекомендуется проводить одновременно с разбивкой сети наблюдений. Допускается увеличивать

площадь планшета параллельно с проведением измерений на готовых профилях.

8.2.2.4 Магистраль сети наблюдений задается в направлении предполагаемого простирания исследуемого объекта. Профили задаются перпендикулярно магистральной. Расстояние между профилями берется в три-четыре раза меньше предполагаемого размера искомого объекта по простиранию, обычно 20, 50 или 100 м. Длина профилей берется в зависимости от поставленной задачи. Если ширина участка более 3 км, задаются две-три параллельные магистрали. Для определения элементов залегания исследуемого объекта длина профиля l в каждую сторону от магистрали, заданной по ожидаемому простиранию объекта, определяется выражением

$$l = 5h + d \quad (1)$$

где h - глубина до верхней кромки объекта,
 d - протяженность оруденения на глубину.

При малой глубине залегания объектов (до 50 м) расстояние между точками уменьшается до 10 м. Влияние удаленного питающего электрода не должно заметно сказываться на результатах наблюдений или может учитываться при обработке материалов.

8.2.2.5 Для планшетов площадью в один или несколько квадратных километров удаленный питающий электрод относится от планшета работ на расстояние, в два раза большее, чем диагональ планшета (но не менее 2 км), в направлении, примерно перпендикулярном преобладающему простиранию горных пород. В случае отнесения удаленного электрода по простиранию пород расстояние до удаленного электрода необходимо брать в 1,5 раза больше, чем при сделанных выше рекомендациях.

8.2.2.6 В качестве источников питания, обеспечивающих необходимую силу тока, применяются стабилизированные генераторные установки, батареи типа ГРМЦ или аккумуляторы. Источник питания включается в любой точке цепи между изучаемым планшетом и удаленным электродом. Обычно его устанавливают в месте, наиболее удобном в отношении обслуживания транспортом.

Отрицательный полюс батареи (источника питания) всегда подключается к погруженному электроду, что обеспечивает единообразие материала.

8.2.2.7 Точка заряда устраивается с помощью заземления в 1-5 рудных подсечениях, относящихся к одному исследуемому объекту, так, чтобы добиться минимального сопротивления заземления. Если рудопроявление вскрыто горной выработкой, то точка заряда устраивается с помощью стальных шпилек, вбиваемых в места трещин или в специальные шпурсы. В некоторых случаях контакт с объектом исследований целесообразно осуществлять с помощью глинистого соленого пластыря. В скважинах контакт исследуемого объекта с токонесущим проводом осуществляется с помощью щеточных (вертикальные скважины) или специальных свинцовых электродов (наклонные скважины). Применять штанги в качестве электродов (заземлений) можно только в наклонных скважинах и при большой видимой мощности объекта. Электроды опускают в скважину на каротажном кабеле или проводе типа ГПСМП. Оптимальное место точки заряда при этом уточняется измерением силы тока в цепи питания при перемещении электрода в пределах намеченного интервала заземления. Электрод закрепляется в точке, в которой сила тока в цепи питания будет наибольшей.

Особое внимание должно быть уделено устройству точки заряда в скважинах, когда в районе работ наблюдается высокое стояние грунтовых вод. В этих условиях при плохом контакте токонесущего провода с объектом часть тока будет распространяться к дневной поверхности непосредственно по раствору, обсадной трубе и растекаться от устья скважины. Контроль качества контакта (отсутствие выноса тока) в скважинах производится путем прослеживания изолинии потенциала. Исходная точка для прослеживания изолинии потенциала берется на расстоянии 3-5 м от устья скважины. В случае выноса тока к дневной поверхности (плохой контакт токовой линии с объектом)

изолиния потенциала в форме окружности оконтурит устье скважины. При отсутствии выноса тока изолиния потенциала у устья скважины не замыкается, идет параллельно простиранию объекта. Допускается также наблюдение потенциала по профилю, проходящему через зарядную скважину, и по форме кривой делают вывод о наличии выноса тока к дневной поверхности по стволу скважины. Необходимо или ликвидировать причину выноса, или остановить работы.

8.2.2.8 Перед началом полевых работ производится подготовка и проверка всего оборудования.

В качестве приемных электродов в случае постоянного тока применяются латунные или медные шпильки. Каждый электрод желательно сделать из одной шпильки. Для уменьшения переходного сопротивления рекомендуется глубже забивать шпильки или увеличить их число (сопротивление цепи MN должно быть не больше 5-10 кОм).

Измерение потенциала производится относительно удаленного измерительного электрода N_{∞} , который обычно выносится за планшет в сторону, противоположную удаленному токовому электроду. Заземление этого электрода может быть групповым (сделано из многих шпилек) при условии, что отдельные шпильки располагаются по одной изолинии потенциала или по кругу с диаметром не более 1 м. Электрод N_{∞} соединяется с измерительным прибором при помощи провода типа легкого хлорвинилового.

Если электрод N не выносится за пределы планшета или располагается у точки заряда, то измерения потенциала на постоянном токе выполняются с учетом знака, а при обработке производится пересчет результатов наблюдений относительно удаленного электрода N_{∞} .

8.2.2.9 В полевом журнале дается схема расположения сети наблюдений, на которой указываются местоположения точек заряда, удаленных электродов (питающего и измерительного), а также местоположение и полярность источника питания.

В этом случае работы на планшете начинаются с измерения потенциала поля по точкам на магистрали для всех профилей относительно электрода N . Эти измерения выполняются со 100% контролем. На основании этих измерений вычисляется относительный потенциал всех точек на магистрали, строятся графики потенциала по магистрали для каждой точки заряда.

8.2.2.10 При одном положении приемных электродов производится поочередное наблюдение градиента потенциала или потенциала, или той и другой величины. Сочетание наблюдений градиента потенциала и потенциала особенно важно при детализационных работах.

Сила тока в питающей цепи измеряется и фиксируется в журнале через 10-20 точек наблюдений. В случаях изменения силы тока измерение производится чаще (в 3-й и 4-й точках), при необходимости постоянство силы тока контролируется на каждой точке.

8.2.2.11 Значение измеряемого потенциала всегда относится к точке M (потенциал в точке N_{∞} принимается равным нулю). При измерениях градиента потенциала (разности потенциалов) необходимо строго следить за знаком измеряемых значений. Необходимо, чтобы в процессе наблюдений не менялось относительное положение приемных электродов. Электрод, расположенный в сторону большего номера пикета, всегда должен быть подключен к клемме M прибора. Для градиента точка записи относится к середине приемной линии.

8.2.2.12 При наблюдениях в модификации градиента потенциала длина приемной линии и шаг в зависимости от глубины залегания объекта обычно берутся равными 10-20 или 50 м. Наблюдения ведутся поочередно в каждую сторону профиля от магистрали или одновременно в обе стороны.

Для построения отчетных графиков вычисляют градиент потенциала на постоянном токе $\Delta U/I$, где ΔU - измеренная разность потенциалов, мВ; I - сила тока, А; в случае потенциала вычисляется UI .

При построении графиков для количественной интерпретации, а также при использовании измерительной линии различной длины допускается построение модуля напряженности электрического поля

$$|E| \approx \frac{\Delta U}{I} \frac{1}{l_{MN}}, \quad (2)$$

где l_{MN} - разнос электродов M и N .

8.2.2.13 Аномальные участки детализируются путем сгущения точек наблюдения по профилям и сгущения сети профилей. Размеры приемной линии сокращаются в два - четыре раза при определении точек перехода через нуль.

Детализация, как правило, должна проводиться после завершения основной съемки.

8.2.2.14 При трудных измерениях должны браться повторные отсчеты, общее число которых должно быть не менее 30 % общего числа наблюдений.

При рядовой съемке делается контроль путем повторных измерений (без изменения положения электродов) в объеме 10 %. Оценка точности наблюдений производится по средней относительной разности наблюденных значений на контрольных профилях путем контрольных измерений (с новой установкой электродов), которая по планшету не должна превышать 5 %. Относительная разность измеряемых значений на отдельных точках не должна превышать 15 %.

В сырую погоду при каждой перестановке измерительной аппаратуры и перекладке проводов измеряются разности потенциалов утечки. Измерения производятся при отключенных рабочих заземлениях, при двух-трех положениях приемной линии на участках профилей, наиболее близко расположенных к токовым проводам. Разность потенциалов утечки при этом не должна превышать 5 % от измеряемой разности потенциалов (при подключении точки заряда).

8.2.2.15 Вспомогательные работы проводятся методом профилирования на профилях, по которым ведется количественная интерпретация или на которых выявлена аномалия. При большой мощности поверхностных образований разносы AB симметричного профилирования увеличиваются до двух-трех глубин до точки заряда.

8.2.2.16 В каждом районе работ по методу заряда необходимо провести определение характеристик анизотропии осадочных пород (коэффициента анизотропии A , азимута простирания и угла падения анизотропных пород). Коэффициент анизотропии и простирание пород определяются на основании прослеживания двух-трех изолиний потенциала от точечного заземления на дневной поверхности безрудного участка по соотношению большой и малой осей эллипса изолинии. Угол падения анизотропных пород определяется по кривой градиента потенциала поля погруженного электрода, полученной на профиле, который проходит над эпицентром точки заряда.

8.2.2.17 Изучение характеристик электрического поля заряда на переменном токе низкой частоты производится в модификации градиента потенциала и изолиний потенциала. При этом работы ведутся на каждой точке заряда отдельно.

8.2.2.18 Подготовка планшета при выполнении вспомогательных работ по прослеживанию изолиний потенциала, например при необходимости оценить простирание рудного тела, включает подготовку магистрали (как для работ на постоянном токе) и трех - пяти профилей. Центральный профиль, проходящий в 20-30 м от проекции точки заряда на дневную поверхность, называется базисным. Обычно профили задаются на расстоянии 150-200 м друг от друга, а пикеты на магистрали и профилях устанавливаются через 10 м.

8.2.2.19 На базисном профиле, в качестве которого используется один из профилей, проложенных перпендикулярно магистрали вблизи проекции точки заряда на дневную поверхность, измеряется значение градиентов и определяется особая точка, от которой ток течет в разные стороны (точка, соответствующая изменению знака градиента при работах на постоянном токе). Особая точка определяется в районе резко выраженного

минимума градиента на базисной линии. Для установления точного местоположения особой точки один из электродов приемной цепи располагают в 10-15 м от точки, где наблюдаются резкие изменения градиента, а второй перемещают по профилю с шагом 2-3 м в направлении особой точки. При каждом положении подвижного электрода измеряется разность потенциалов. До подхода к особой точке измеряемые значения будут расти, а дальше уменьшаться. Максимальное значение соответствует искомой точке. Местоположение ее уточняется с шагом 0,5 м. После определения местоположения особой точки измеряется разность потенциалов между ней и ближайшими пикетами.

На основании измеренных значений градиента потенциала $\Delta U/I$ строится кривая потенциалов, а по ней определяется местоположение исходных точек для прослеживания изолиний потенциалов. Исходные точки выбираются так, чтобы разность потенциалов между ними была одинаковой; обычно среднее расстояние между изолиниями составляет около 20-30 м, минимальное – не менее 10 м, а максимальное - не более 50 м.

Для нахождения местоположения исходных точек на местности один из электродов измерительной цепи устанавливают в особой точке базисного профиля, а второй перемещают в одну из сторон профиля до тех пор, пока на приборе не будет наблюдаться заданное значение разности потенциалов. Эта точка стояния подвижного электрода принимается за исходную точку первой изолинии. Затем неподвижный электрод устанавливают в исходной точке первой изолинии и аналогично находят местоположение исходной точки второй изолинии и т. д. Все исходные точки для прослеживания изолиний должны находиться по одну сторону профиля от особой точки. Для контроля точности прослеживания изолиний на другой стороне профиля от особой точки располагают контрольные точки.

8.2.2.20 Цепь для прослеживания изолиний потенциала состоит из двух щупов, один из которых соединен с измерительным прибором гибким изолированным проводом длиной 25-30 м, а второй - с прибором отрезком провода 1-1,5 м. Прослеживание изолиний выполняется оператором и рабочим. В начале работ рабочий устанавливает удаленный от прибора щуп в исходной точке, а оператор с другим щупом и прибором отходит на 20-25 м в направлении предполагаемого простираения изолинии и заземляет щуп последовательно в нескольких точках, расположенных по линии, перпендикулярной предполагаемому простираению изолинии. В точке, где показание прибора равно нулю или минимально, устанавливается веха с надписью римскими цифрами номера изолинии и арабскими - номера точки. Аналогично находят вторую и последующие точки изолинии потенциала. Разрыв в работе по прослеживанию изолинии и ее привязки не допускается.

При пересечении изолинией профилей или магистрали ее положение определяется по отношению к пикетам на этих профилях.

После прослеживания изолиний потенциала измеряется градиент по всем вспомогательным профилям магистрали и по двум взаимно перпендикулярным профилям, один из которых проходит по особым точкам.

8.2.2.21 Оценка точности прослеживания изолиний потенциала производится по отклонению конечных точек изолиний от исходной. Расхождение конечной и начальной точек изолинии должно быть не более 10 м на 1 км изолинии. Контрольными следует также считать соответствующие вспомогательные точки, расположенные на базисной линии (по другую сторону от особой точки). Оценка точности измерений градиентов производится так же, как и при работах на постоянном токе.

8.2.2.22 Полевая документация при работе на переменном токе включает журнал градиентов и план изолиний.

8.2.2.23 При окончании работ по МЗ с измерением электрического поля демонтаж установки разрешается только после предварительной интерпретации материалов съемки и выполнения детализационных работ на аномальных участках.

8.2.2.24 Комиссии по приемке полевых материалов предъявляют: журналы полевых и контрольных наблюдений; планы графиков градиента потенциала (или потенциала) на топооснове; планы изолиний потенциала (если они строились); местоположение точки заряда и удаленного электрода, нанесенное на топооснову для расчета нормального поля.

8.2.2.25 Неровности, углы наклона скатов которых меньше 10° , как правило, не вносят в результаты измерений визуально заметных искажений, при больших углах следует выделять аномалию от неоднородностей рельефа. Неровности рельефа выявляются по топографической карте или по плану местности, масштаб которых позволяет снимать отметки высот с повторяемостью (сходимостью), меньшей 10 % от ширины основания неровности. Отдельные неоднородности, на которые падает менее трех точек наблюдения, можно исключить из рассмотрения.

8.2.2.26 При наличии поверхностных неоднородностей по удельному сопротивлению (наносов) следует особенно тщательно закартировать границу их выклинивания (например, по данным электропрофилирования), так как наибольшее искажение поля заряда наблюдается именно у кромки наносов.

Учет влияния наносов в методе заряда необходим во всех тех случаях, когда их наличие отмечается по данным методов, изучающих удельное сопротивление. Допускается повторяемость (сходимость) определения мощности наносов 25 %.

8.2.2.27 Метод заряда применяется в гидрогеологии для определения направления действительной скорости движения подземных вод с целью исследования подземных потоков до глубины 100 м в модификации изолиний потенциала.

8.2.2.28 Съемку изолиний потенциала производят по системе радиальных лучей, расходящихся от устья скважины под углом 45° друг к другу. В соответствии с методическими рекомендациями питающий электрод погружают в скважину до середины водоносного пласта; второе заземление относят на расстояние, примерно в 10-15 раз превышающее глубину погружения первого заземления; в качестве электролита применяется поваренная соль, которая погружается в скважину до уровня водоносного пласта.

8.2.2.29 После погружения электролита снимается первая серия эквипотенциальных линий. Расстояние от изолиний до устья скважин выбирается в пределах от 1 до 2,5 глубин погружения питающего электрода в скважину.

8.2.2.30 Необходимо снять две-три замкнутые изолинии. Эквипотенциальные линии, снятые до введения соли или сразу же после засоления скважины, называются базисными изолиниями. Результаты наблюдений записываются в журнал.

8.2.2.31 Съемка производится непрерывно или периодически при неизменном положении неподвижного электрода и непрерывном добавлении соли в скважину. Периодическую съемку производят в условиях малых скоростей движения подземных вод (до 1-2 м/сут).

8.2.2.32 Обработка материала включает в себя построение изолиний потенциала, определение максимальных смещений изолиний, направления смещений, а также построение графиков для определения скорости потока в соответствии с методическими рекомендациями.

8.2.2.33 Применение метода заряда с целью изучения морфологии рудного поля как единого целого получило название мелкомасштабной модификации, которая используется для выделения и оконтуривания участка земной коры, внутри которого заключены геологически взаимосвязанные рудные тела, входящие в данное рудное поле, а также для обнаружения и прослеживания основных частей (ветвей) внутри данного рудного поля.

Результаты работы методом заряда при изучении рудных полей заключаются:

- в построении объемной системы изоповерхностей измеренного потенциала электрического поля от заряженного рудного поля;

- в создании модели рудного поля, построенной в виде карты, планов и разрезов рудного поля, на основе геологического истолкования указанной объемной системы изоповерхностей потенциала.

8.2.2.34 Для проведения работ необходимо выбрать оптимальную точку заряда в рудном поле, которая должна быть связана электрически по возможности с большим числом рудных залежей в рудном поле, обладающих наибольшей площадью поверхности; оптимальную точку заряда следует выбирать из числа тех, которые по данным токового каротажа обладают наименьшим переходным сопротивлением заземления. Зарядное подсечение должно размещаться максимально близко к прикорневым частям рудного поля (исходя из известной морфологии его составных частей) с целью уменьшения сопротивления току при его растекании в соседние ветви, быть как можно глубже, чтобы проводящие ветви рудного поля оказались между точкой заряда и поверхностью, на которой производятся измерения.

8.2.2.35 Для построения системы изоповерхностей потенциала поля на участке все скважинные и наземные наблюдения необходимо выполнять с одними и теми же долговременными заземлениями. Площадь съемки должна быть в своем максимальном размере не менее чем в три раза больше ожидаемого максимального размера рудного поля, установленного по другим данным, например по размеру наземной аномалии ВП, и примерно такой же в ширину, с тем, чтобы форма внешних изолиний потенциала от заряженного рудного поля приближалась к окружности.

8.2.2.36 Для технического выполнения мелкомасштабной модификации заряда, учитывая, что работы проводятся на большой площади и обычно в условиях промышленных электрических помех, следует использовать низкочастотный переменный ток (1-4 Гц) и мощные генераторные группы, например от электроразведочных станций СВП-74 и др. Необходимо также удалять второй питающий электрод на несколько километров (до 7-10 км) от участка работ, используя для этой цели провода с низким сопротивлением. Прокладка таких питающих линий в обжитых районах в целях обеспечения безопасности должна выполняться по столбам.

8.2.2.37 Наблюдения по мелкомасштабной модификации заряда как на поверхности земли, так и в горных выработках следует вести с установкой потенциала, приводя все наблюдения к единому уровню, близкому к истинному нулевому потенциалу, т. е. к потенциалу «бесконечно» удаленной точки. Проведение работ установкой градиента потенциала здесь допустимо, но менее целесообразно, так как в поле градиента потенциала существенно проявляются все мелкие неоднородности среды различного удельного сопротивления в районе измерительных электродов.

8.2.2.38 Одновременно с площадью съемки выбирается сеть наземных и скважинных измерений. Для рудных полей, имеющих размеры в длину не менее 1 км, оптимальной можно считать наземную сеть $(200 \div 250) \times (50 \div 100)$ м, а для рудных полей с меньшими размерами ветвей - сеть 100×20 м.

Наблюденные значения потенциала электрического поля заряда на рудном поле представляются в виде планов изолиний или графиков потенциала на геологической основе: на карте участка, погоризонтных планах и разрезах.

Рекомендуются два способа получения более или менее приближенных представлений о строении рудного поля. Первый способ имеет качественный характер. На изученной бурением части рудного поля рекомендуется выбрать изоповерхности, внутри которых находятся рудные скопления, и на основе приближенного представления о форме этих изоповерхностей во всем объеме участка выделить на планах и разрезах участка рудного поля объемы под дальнейшую буровую разведку. Второй способ основан на выполнении расчета электрического поля от сложных заряженных проводников с помощью программ для ПЭВМ. Подбор морфологии заряженных проводников в этом случае выполняется согласно требованиям соответствующих методических пособий [8].

8.2.3 Метод заряда с измерением характеристик магнитного поля

8.2.3.1 Работы по методу заряда с измерением характеристик магнитного поля на переменном токе низкой частоты (МЗМП) проводятся по профилям, идущим перпендикулярно предполагаемому простиранию изучаемого объекта или по лучам, расходящимся от точки заряда.

8.2.3.2 Для выделения аномалии, обусловленной рудным телом, нормальное поле питающей цепи и заземлений должно быть исключено из результатов наблюдений или учтено при интерпретации. Знание основных закономерностей распределения нормального поля питающей цепи является обязательным условием успешного применения метода. Представление о степени искажения результатов наблюдений полем токнесущего кабеля необходимо на самом начальном этапе работ при выборе направления выноса удаленного электрода по отношению к предполагаемому простиранию рудного тела.

8.2.3.3 Не следует выносить второй электрод питающей цепи в направлении ожидаемого простирания вскрытого рудного тела и выполнять наземные наблюдения на продолжении кабеля по профилям, перпендикулярным ему. Пространственное совпадение аномалии от рудного тела с такими особенностями нормального поля, как максимум горизонтальной (направленной вдоль профиля) и смена знака (минимум) вертикальной составляющих, усложняет истолкование результатов наблюдений.

8.2.3.4 Нецелесообразно раскладывать наземную часть цепи перпендикулярно простиранию заряженного проводника и располагать профили параллельно проводу (вкрест простирания рудного тела). При такой схеме наблюдений вертикальная составляющая нормального поля имеет крайне неоднородный характер и непосредственно над проводником наблюдается резкий спад, на фоне которого не проявляется четко аномальный эффект.

8.2.3.5 Предпочтительнее раскладывать токнесущий кабель под углом 30-50° к простиранию рудного тела и располагать профили вкрест последнего. При такой схеме аномальный эффект, обусловленный подземным проводником, наблюдается на спокойном фоне нормального поля и положение зоны повышенной плотности тока может быть достоверно установлено по результатам наблюдений суммарного поля.

8.2.3.6 Известны различные способы расположения пунктов наблюдений по отношению к питающей цепи, при которых отдельные составляющие нормального магнитного поля на дневной поверхности равны нулю, что позволяет измерять непосредственно аномальное поле. К ним относятся следующие способы.

8.2.3.7 Наблюдения на продолжении прямолинейной наземной части цепи, когда профили разбиваются радиально от зарядной скважины и провод раскладывается на продолжении каждого профиля. Этот способ связан с большой трудоемкостью подготовительных работ.

8.2.3.8 Наблюдения аномального поля по радиальным лучам, которые можно выполнять и при неизменном положении питающей цепи, компенсируя нормальное поле особым расположением наземной части провода. Для этого используются два удаленных заземления, расположенных на одной прямой симметрично зарядной скважины. Компенсация нормального поля на любом профиле-луче достигается соответствующим подбором силы токов, текущих в противоположных направлениях по кабелю.

8.2.3.9 Наблюдения при расположении верхнего заземления питающей цепи у устья горной выработки (шурфа, скважины), через которую осуществляется ввод тока в рудное тело. В этом случае нормальное поле питающей цепи устраняется полностью (в случае однородных или горизонтально-слоистых сред) и объектом наземных наблюдений является аномальное поле. Достоинством питающих установок, заземленных в вертикальных скважинах, является возможность прослеживания рудных тел в противоположных направлениях при неизменном положении генератора в питающей цепи. Целесообразно использование питающих установок, заземленных в наклонных

скважинах. При этом нормальное поле на поверхности земли полностью не скомпенсировано, но ослаблено в значительной степени, и эффект от заряженных проводников наблюдается без существенных искажений. Способы расположения питающей цепи обеспечивают прослеживание вскрытых и выявление незаряженных проводников непосредственно по результатам полевых наблюдений без трудоемких расчетов нормального поля токонесущего кабеля. В ряде случаев целесообразны повторные измерения поля с различным расположением питающей цепи. Они значительно повышают достоверность сведений о положении рудных тел и тем самым исключают их пропуск при бурении.

8.2.3.10 Для работ МЗМП по профилям подготавливается сеть наблюдений. Профили задаются на расстоянии 50-100 м друг от друга. Точки на профилях наиболее часто устанавливаются через 20 м. Длина профилей и их количество определяются перспективной площадью, подлежащей изучению. При этом учитывается мощность генератора тока и чувствительность измерительной аппаратуры к полезному сигналу.

При работах по лучевой схеме наблюдения проводятся последовательно по 6-12 лучам. Длина каждого луча берется в 1,5 раза больше предполагаемого простираения исследуемого объекта от точки заряда. Удаленный электрод и кабель с током относятся от точки заряда в сторону, противоположную лучу. При этом луч, по которому проводятся наблюдения, и прямая линия, на которой расположен кабель, должны составлять угол 180° .

Удаление одного из заземлений с целью уменьшения влияния его поля приводит к увеличению длины подводящих ток проводов. Допустимая длина провода, при которой сохраняется распределение поля, как в случае постоянного тока, в зависимости от рабочей частоты и удельного сопротивления пород может быть определена с помощью соответствующих методических рекомендаций по применению метода.

8.2.3.11 На каждой точке стояния прибора измеряются амплитуды и углы трех ортогональных составляющих вектора- напряженности магнитного поля:

H_x - горизонтальная составляющая, направленная вдоль профиля или луча;

H_y - горизонтальная составляющая, перпендикулярная профилю или лучу;

H_z - вертикальная составляющая;

ψ - азимут направления полного вектора напряженности магнитного поля относительно положительного направления линии профиля;

α - угол наклона полного вектора напряженности магнитного поля к горизонтальной плоскости.

8.2.3.12 При высоком уровне промышленных помех, а также в случае сложного характера магнитного поля, обусловленного наличием апофиз или смежных рудных тел, целесообразно измерять синфазную с током в питающей линии вещественную компоненту пространственных составляющих поля $Re H_x$; $Re H_y$; $Re H_z$.

При этом опорное напряжение может подаваться на измерительный прибор либо непосредственно с питающей линии, либо с магнитного индукционного преобразователя (датчика), расположенного вблизи питающей линии, либо с заземленных на безрудном участке электродов.

8.2.3.13 Для контроля за работой аппаратуры на планшете вне рудного тела выбирается контрольный пункт, на котором жестко закрепляется источник поля в виде квадратной либо круглой незаземленной петли или заземленного на концах прямолинейного отрезка провода длиной 20-50 м. Колышками фиксируются точки стояния приборов в центре петли или напротив середины заземленного провода на расстоянии, не превышающем его длину.

На контрольном пункте производится определение коэффициента преобразования (чувствительности к полю) магнитного индукционного преобразователя (датчика) C , необходимого для пересчета эдс выходного сигнала измерителя в вольты в единицы напряженности магнитного поля - А/м. Здесь же производится маркировка магнитного

ТКП 17.04-40-2012

индукционного преобразователя, выходных клемм генератора и цепи опорного напряжения, обеспечивающая однозначность определения направления поля $Re H_x$; $Re H_y$; $Re H_z$ т. е. знака пространственных компонент.

Коэффициент преобразования магнитного индукционного преобразователя C вычисляется по формуле, $B/(A/m)$,

$$C = U/|H| \quad (3)$$

где U - значение эффективного напряжения на выходе измерителя, В;

$|H|$ - модуль напряженности магнитного поля (или его вещественная компонента $Re H$) данного источника, А/м (при единичном значении силы тока на рабочей частоте).

Перед определением коэффициента преобразования (чувствительности к полю) магнитного индукционного преобразователя измеритель сигналов должен быть прокалиброван.

Определение коэффициентов C выполняется ежедневно перед началом и в конце рабочего дня, а также после устранения возникших неисправностей или регулировок измерителей. Одновременно в процессе измерений следят за тем, чтобы сила тока поддерживалась по возможности постоянной.

8.2.3.14 Маркировка выходных клемм генератора, цепи опорного напряжения и магнитного индукционного преобразователя производится из условного предположения, что источник поля питается постоянным током. Положительное направление поля $Re H_x$; $Re H_y$; $Re H_z$ определяется праввинтовой системой связи силовых линий поля с направлением тока в источнике.

8.2.3.15 Оценка погрешности полевых измерений магнитного поля производится на основании контрольных и повторных наблюдений, которые составляют до 10 % от общего объема работ.

Количественная оценка погрешности измерений составляющих H_x , H_y , H_z пространственных компонент модуля $|H|$ или вещественных составляющих $Re H_x$; $Re H_y$; $Re H_z$ поля производится на основе расчета средней относительной погрешности, в соответствии с формулой, %

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\Delta H_j}{|H|} \cdot 100 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta H_j}{\sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}} \cdot 100, \quad (4)$$

где ΔH_j - разность основных и повторных измерений составляющих поля H_x , или H_y , или H_z ;

$|H|$ - модуль полного вектора напряженности магнитного поля, измеренный непосредственно или вычисленный на основании наблюдений пространственных компонент поля;

n - число повторных наблюдений.

Выражение (4) применяется также для оценки погрешности при измерении $Re H$. Средняя относительная повторяемость (сходимость) не должна превышать 5-7 %. Средняя абсолютная повторяемость (сходимость) в определении азимутального ψ и зенитного α углов должна быть не более 1-2°.

8.2.3.16 Результаты наблюдений по профилям поля H_x , H_y , H_z или $Re H_x$; $Re H_y$; $Re H_z$, выраженные в вольтах, приводятся к единичному значению силы тока в питающей линии и переводятся в единицы напряженности магнитного поля посредством умножения на коэффициент K_n , $1/(B \cdot m)$.

$$K_n = 1/(CI) \quad (5)$$

где C определяется по формуле (3).

Вычисление напряженности поля H производится с учетом коэффициента перевода K_n по формуле

$$H = K_n \cdot U \quad (6)$$

Полученные данные изображаются в виде графиков составляющих поля и углов с указанием исходных сведений, необходимых для расчета нормального поля питающей линии. При вычислении нормального поля необходимо знать координаты питающих электродов и расположение токоподводящего кабеля.

Составляющие аномального поля вычисляются по формуле:

$$|H_{ai}| = |H_{ci}| - |H_{ni}| \quad (7)$$

где $|H_{ai}|$ - модуль напряженности аномального поля, А/м ;

i - x, y, z ;

$|H_{ci}|$ - модуль напряженности суммарного поля;

$|H_{ni}|$ - модуль напряженности нормального поля (если $H_{ni} \neq 0$ за счет выбора установки).

Аномальное поле с учетом выражения (7) вычисляется по формуле

$$|H_a| = \sqrt{|H_{ax}|^2 + |H_{ay}|^2 + |H_{az}|^2} \quad (8)$$

При измерении вещественной компоненты вместо H_a аномальное поле вычисляется по формуле

$$Re H_{ai} = Re H_{ci} - Re H_{ni} \quad (9)$$

где $Re H_{ai}$ - напряженность аномального поля вещественной компоненты;

$Re H_{ci}$ - напряженность суммарного поля, А/м;

$Re H_{ni}$ - напряженность нормального поля, А/м;

i - x, y, z .

В процессе интерпретации аномального поля на основании графиков напряженности составляющих определяют местоположение рудного тела, уточняют угол его падения, размеры по простиранию, выявляют нескрытые рудные тела. При интерпретации графиков аномальных полей используют имеющиеся в литературе методические рекомендации [10].

8.2.3.17 Комиссии по приемке полевых материалов предъявляют журналы полевых и контрольных наблюдений, журналы эталонировки аппаратуры, графики характеристик магнитного поля, исходные данные для расчета нормального поля питающей цепи: местоположение заземления и конфигурация кабеля, данные инклинометрии по зарядной и измерительной скважинам.

8.3 Метод электропрофилирования

8.3.1 Общие сведения

8.3.1.1 Метод электропрофилирования (ЭП) на постоянном токе с наблюдением напряженности постоянного или низкочастотного электрического поля предназначен для изучения геоэлектрического разреза в горизонтальном направлении. При этом низкочастотное электрическое поле интерпретируется как постоянное.

8.3.1.2 Методом ЭП решаются задачи на стадиях, связанных с геологическим картированием, поисками месторождений твердых полезных ископаемых, подземных вод, и при инженерно-геологических работах. Различные модификации ЭП позволяют более эффективно подчеркивать те или иные особенности геоэлектрического разреза, более

экономично решать конкретные геологические задачи; модификации различаются большей или меньшей сложностью при производстве работ.

8.3.1.3 Условия, необходимые для применения метода ЭП, следующие: крутое падение крыльев складок, зон нарушений, контактов; резкое различие в удельном сопротивлении слагающих толщ; относительная простота геоэлектрического разреза; выдержанность удельного сопротивления в каждой из толщ; при поисках залежей полезных ископаемых - значительная разница в удельной электропроводности залежи и вмещающей породы, относительная выдержанность значений удельного сопротивления залежи и вмещающих пород, большая протяженность залежи по сравнению с глубиной залегания.

8.3.1.4 Модификации ЭП, разносы питающих и приемных линий, положение электродов, сеть наблюдений, тип аппаратуры выбираются в зависимости от решаемых геологических задач, характера и глубины залегания изучаемых объектов и условий работы. Вид установок - заземленные или незаземленные - зависит от условий заземления.

8.3.2 Электропрофилирование с заземленными установками

8.3.2.1 Для решения задач геологического картирования применяется симметричное электропрофилирование (СЭП) с заземленными установками $AMNB$ и $AA'MNB'B$ и дипольное электропрофилирование (ДЭП) с заземленной установкой $ABMN$. Работы ведутся в различных масштабах - от маршрутных исследований до съемок масштаба 1:10000 и крупнее. Разносы AB установки $AA'MNB'B$ в зависимости от требуемой глубины исследования могут изменяться от первых километров до первых сотен метров. Установки $AMNB$ и $ABMN$ с разносами l_{AB} и l_{00} порядка 200 м и менее применяются в относительно простых геоэлектрических условиях для исследований на небольших глубинах. Установка $AA'MNB'B$ применяется в относительно сложных геоэлектрических условиях.

Комбинированное (КЭП) и дипольное электропрофилирование, а также ЭП в модификации градиента применяются для поисково-разведочных целей (поисков и разведки сульфидных рудных тел, пегматитовых и кварцевых жил, угольных пластов и др.) и детального геологического картирования.

Другие модификации ЭП (дифференциальные установки, модификации вращающегося поля и двух составляющих, установка потенциала и др.) применяются в тех случаях, когда их преимущества подтверждены результатами опытно-методических работ на известных геоэлектрических разрезах изучаемого района. Дифференциальное электропрофилирование с многоэлектродными и дивергентными установками применяется для решения инженерно-геологических задач. Работы ведутся, как правило, в крупных масштабах (1:10000 и крупнее).

8.3.2.2 КЭП и СЭП выполняются, как правило, на постоянном токе с помощью аппаратуры типа ЭРА, АЭ-72 или аналогичной. При работе на переменном токе следует применять возможно более низкие частоты или принимать меры для учета (исключения) влияния токового провода. ДЭП и ЭП в модификации градиента выполняются обычно с использованием низкочастотной аппаратуры типа ЭРП-1, ЭИН-2004, АНЧ-3 или аналогичной.

8.3.2.3 Работы методом ЭП в большинстве случаев ведутся по заранее разбитой сети. Профили ориентируются по возможности вкрест простирания изучаемых объектов с учетом рельефа местности.

8.3.2.4 При ЭП в модификации градиента при одном положении питающих электродов AB отрабатывается участок, включающий от 3 до 15 и более соседних профилей. Измерения ведутся в средней части AB (модификация срединного градиента - СГ) на профилях длиной до $0,8l_{AB/2}$ в обе стороны от осевой линии планшета, не доходя до питающих электродов на расстояние, обеспечивающее необходимую глубинность

исследований. Иногда проводятся наблюдения за пределами питающих электродов (модификация внешнего градиента - ВГ) на расстояниях $(3 \div 5)l_{AB/2}$ от середины линии AB . Провод питающей линии раскладывается по прямой между заземлениями A и B . Для рабочих частот 5-20 Гц и при разносах $l_{AB/2}$ порядка первых километров расстояние между проводом и ближайшим к нему профилем наблюдений должно быть не менее 10-20 м. При больших разносах и частотах это расстояние определяется необходимой глубиной исследований. Удаленность крайних профилей зависит от возможности проведения достоверных измерений и обычно не превышает $(1 \div 2)l_{AB/2}$.

Генератор тока с рабочей частотой 5-20 Гц может быть включен в любом месте питающей цепи. В случае рабочих частот звукового диапазона генератор следует располагать у одного из заземлений установки.

Детализация (сгущение сети профилей и уменьшение шага наблюдений), как правило, должна проводиться после завершения основной съемки планшета на участках с неуверенной корреляцией особенностей графиков наблюдений, представляющих интерес в геологическом отношении. При перестановке линии AB смежные или соприкасающиеся профили соседних планшетов должны перекрываться.

8.3.2.5 При использовании любой модификации ЭП в случаях обнаружения аномалий на окончаниях профилей измерения должны быть продолжены до уверенного выхода в нормальное поле.

8.3.2.6 Разносы установок и размеры приемных и питающих линий при ЭП выбираются такими, чтобы изучаемый объект фиксировался наиболее четко. При выборе разносов пользуются данными рекогносцировочных ВЭЗ и результатами опытно-методических работ, выполненных на нескольких профилях через известные объекты, аналогичные искомым.

8.3.2.7 Разносы установки $AA'MNB'B$ должны быть кратны длине l_{MN} и шагу наблюдений. Разница между разносами должна быть по крайней мере более $2l_{MN}$, а их отношение друг к другу выбирается таким, чтобы наиболее полно изучить существенные характеристики геоэлектрического разреза. Работы с установкой $AA'MNB'B$ могут вестись с одной питающей линией, имеющей разрывы у заземлений A' и B' , или с двумя независимыми линиями. В первом случае наблюдение вначале производится с короткой линией, после чего провод у заземлений A' и B' переключается на длинную линию.

8.3.2.8 При КЭП оптимальная длина разносов l_{AO} и l_{OB} зависит от глубины расположения и размеров объектов поисков и может быть ориентировочно определена по формуле

$$l_{AO} = \frac{1}{4} \left(8h_2 + \frac{\rho_2}{\rho_1} d_1 \right), \quad (10)$$

где d_1 - мощность поверхностных образований;

h_2 - предполагаемая глубина до верхней кромки искомого объекта;

ρ_1 и ρ_2 - удельные электрические сопротивления поверхностных образований и вмещающих пород соответственно.

Шаг наблюдений и длина разносов MN установки берутся в интервале 20-80 м. Для устранения влияния удаленного электрода на результаты измерений он относится на расстояние не менее $(5 \div 10)l_{AO}$ от планшета работ, предпочтительнее за зону пород высокого удельного сопротивления с малой мощностью поверхностных образований.

8.3.2.9 При ДЭП размеры питающей и приемной линий, как правило, берутся одинаковыми. Различные размеры линий (малые размеры приемной при относительно больших размерах питающей линии) применяются лишь при детализационных работах с двухсторонней дипольной установкой.

8.3.2.10 При работе с различными модификациями ЭП выполняются общие требования по борьбе с помехами.

Контроль влияния утечки при СЭП производится систематически: в сухую погоду контролируется не менее 5 %, а в сырую или при влажной почве - не менее 10 % от всего числа наблюдений. Влияние утечки в линиях проверяется путем попеременного отключения питающих заземлений, если источник питания находится в центре. При расположении источника питания у одного из заземлений проверка утечки производится только при отключении удаленного от источника питания заземления. При КЭП влияние утечки проверяется при отключении только заземлений, расположенных на профиле измерений. Во избежание влияния утечек при работе в сырую погоду или при влажной траве питающие провода не должны располагаться ближе чем на 4-5 м от профиля. Разность потенциалов утечки не должна превышать 5% от измеряемой разности потенциалов. В случае обнаружения утечки ее надо локализовать и устранить. При работе на переменном токе с установками градиента и ДЭП вместо проверки утечки осуществляется визуальный контроль за качеством изоляции проводов питающих и приемных линий при их раскладке.

Для заземлений приемной линии на постоянном токе следует применять латунные штыревые электроды. В случае плохих условий для заземлений нужно контролировать значения переходных сопротивлений приемной линии и при необходимости принимать меры для улучшения заземлений.

Влияние электрических помех линий электропередачи и связи, а также сверхдлинноволновых радиостанций устанавливается по отношению уровней наблюдаемых разностей потенциалов при включении и выключении тока установки. Допустимое значение отношения должно быть не менее 2-3.

В трудных условиях для измерений необходимо выполнять повторные наблюдения в объеме, достаточном для достижения заданной точности наблюдений.

8.3.2.11 Повторяемость (сходимость) наблюдений при ЭП определяется по относительной разности значений ρ_K (или $\Delta U/I$) основных и контрольных (на тех же точках) измерений. Средняя относительная разность по участку съемки не должна превышать 5-10%: быть минимальной (до 5 %) при последующем использовании результатов полевых измерений для количественной интерпретации и не более 10 % в условиях помех.

8.3.2.12 По результатам измерений на постоянном токе $\Delta U/I$ вычисляют кажущееся удельное сопротивление ρ_K по формуле, Ом*м,

$$\rho_K = K \cdot \Delta U / I \quad (11)$$

где K - коэффициент установки, м.

8.3.2.13 Коэффициенты установок для рассматриваемых модификаций ЭП вычисляются по формулам:

$$K = \frac{2\pi}{1/l_{AM} - 1/l_{BM} - 1/l_{AN} + 1/l_{BN}}; \quad (12)$$

для СЭП с установками AMNB

$$K_{СЭП} = \frac{\pi(l_{AB/2}^2 - l_{MN/2}^2)}{2l_{MN/2}}; \quad (13)$$

для КЭП с установками AMN, B ∞

$$K_{КЭП} = \frac{\pi(l_{AO}^2 - l_{MN/2}^2)}{l_{MN/2}}; \quad (14)$$

для ДЭП с установками ABMN

$$K_{ДЭП} = \frac{\pi(l_{AO}^2 - l_{MN/2}^2) \cdot (l_{OB}^2 - l_{MN/2}^2)}{l_{MN/2}(l_{OB}^2 - l_{AO}^2)}; \quad (15)$$

для модификации СГ с установками АМНВ

$$K_{СГ} = \frac{\pi}{l_{MN/2} \left(\left[\frac{l+x}{(l+x)^2 + y^2} \right]^{3/2} + \left[\frac{l-x}{(l-x)^2 + y^2} \right]^{3/2} \right)}, \quad (16)$$

где $l_{AB/2}$ - полудлина АВ, м;

$l_{MN/2}$ - полудлина MN, м;

y - расстояние от питающей линии АВ до профиля наблюдений, м;

x - расстояние от середины профиля наблюдений до середины приемной линии MN, м.

При этом сила тока измеряется в миллиамперах, разность потенциалов - в милливольтгах, длина линии и координаты x , y точки наблюдения - в метрах.

8.3.2.14 При интерпретации наблюдений необходимо учитывать, что значения ρ_K , рассчитанные с помощью формул (11) - (16) при измерениях на переменном токе, практически совпадают со значениями ρ_K при измерениях на постоянном токе лишь при значениях параметра $\rho_{ЭП}$, больших 25-50 мкГн/м. При меньших значениях $\rho_{ЭП}$, в особенности на профилях, расположенных вблизи питающей линии (для установки градиента), значения ρ_K на переменном токе могут быть существенно завышены по сравнению с соответствующими значениями для постоянного тока. Однако в большинстве случаев завышение значения не оказывает заметного влияния на относительный характер кривых и, следовательно, на разрешающую способность ЭП.

Параметр $\rho_{ЭП}$ определяется по формуле:

$$\rho_{ЭП} = \rho / l^2 f, \quad (17)$$

где ρ измеряется в Ом*м,

f - в герцах,

l - разнос установки в километрах.

Для оценки $\rho_{ЭП}$ вместо ρ используется среднее значение ρ_K ; $l = l_{AB/2}$ или $l = l_{oo}$ соответственно для установок градиента и дипольного профилирования. При малых значениях $\rho_{ЭП}$ расчет кажущегося удельного сопротивления на переменном токе ρ_K выполняется в соответствии с методическими рекомендациями [11], [12].

8.3.2.15 Основным способом графического изображения результатов наблюдений является построение карты (планов) графиков ρ_K ($\Delta U/I$). Точки графиков должны соответствовать центрам приемных линий. На карте графиков указывают район и участок работ, вид установки, горизонтальный и вертикальный масштабы, дату работ, название партии и отряда, условные обозначения к графикам, а также вычерчивают схему установки с указанием расстояний между электродами и схему расположения профилей с указанием ориентировки относительно стран света. Схема установки градиента должна быть совмещена со схемой профилей с указанием местонахождения генератора. Схемы установок КЭП и ДЭП следует оформлять в виде «ключей» установок, показывающих ориентировку питающих электродов по странам света и условное обозначение соответствующих им графиков.

8.3.2.16 По окончании работ на участке съемки производится предварительная интерпретация полученного материала. На выявленных аномалиях проводятся детализационные исследования, а при необходимости выполняются электроразведочные работы.

8.3.2.17 Учет влияния рельефа местности и перекрывающих рыхлых отложений производится в соответствии с методическими рекомендациями. Оценка влияния рельефа местности обычно выполняется по топографической карте с сечением изогипс 2–5 м.

8.3.2.18 Форма журнала для полевых наблюдений методом электропрофилирования приведена в приложении Е.

8.3.3 Электропрофилирование с незаземленными установками

8.3.3.1 При поверхностном покрове, неблагоприятном для устройства заземлений (асфальт, сухие пески, мерзлый грунт, лед, снежный покров и т. п.), электропрофилирование выполняется с незаземленными приемными и питающими линиями по методике бесконтактного измерения электрического поля (БИЭП).

8.3.3.2 Методика БИЭП основана на измерении в воздухе составляющих электрического поля с помощью незаземленной приемной линии, расположенной вблизи земной поверхности. Низкочастотное электрическое поле (100–5000 Гц) возбуждается с помощью заземленной, незаземленной и частично заземленной питающих линий.

Методика БИЭП применяется при электропрофилировании в модификациях СГ, ДЭП и КЭП, а также при изучении электрического поля заряженного рудного тела. При этом основные требования к производству полевых и камеральных работ указанными видами ЭП сохраняются (п. 8.3.5).

8.3.3.3 Для работ с незаземленными рабочими линиями используется аппаратура типа БИЭП.

При наблюдениях с незаземленной приемной линией электрическое поле, так же как и в случае заземленной линии, определяется по результатам измерения разности потенциалов ΔU приемных электродов. В качестве электродов в незаземленной приемной линии используются достаточно протяженные проводники: отрезки проводов, металлические штыри. Незаземленный приемный электрод принимает в электрическом поле потенциал, по значению равный среднему значению потенциала первичного поля в объеме, занятом проводником (под первичным здесь понимается поле, существующее до внесения в него проводника - электрода).

Разнос (действующая длина) незаземленной приемной линии определяется длиной отрезка, соединяющего геометрические центры приемных электродов. Середина этого отрезка является электрическим центром приемной линии, к которому относятся результаты наблюдений при их графическом изображении.

8.3.3.4 При ЭП в модификации градиента в зависимости от требуемой детальности работ применяется один из трех вариантов конструкции незаземленных приемных линии: подвесная, стелющаяся или штыревая. При ДЭП и КЭП используется стелющаяся линия.

8.3.3.5 Штыревая и подвесная линии имеют симметричную конструкцию и рассчитаны на подключение к симметричному входу индикатора напряжения. Стелющаяся линия подключается к несимметричному входу прибора, причем с «нулевой» входной клеммой N индикатора должен соединяться металлический браслет, закрепленный на руке оператора. Электрический центр приемной линии совпадает для штыревой и подвесной линий с их геометрическим центром, а для стелющейся линии он смещен от геометрического центра в сторону оператора на расстояние, равное $1/4$ длины провода линии.

8.3.3.6 Подвесная линия при наблюдениях поддерживается оператором и двумя рабочими на высоте 1–1,5 м над землей параллельно земной поверхности.

Штыревая линия ориентируется оператором по направлению определяемой составляющей электрического поля с помощью уровней и компаса. При измерениях горизонтальной составляющей поля она удерживается рукой за центр на высоте 0,8–1 м над землей на расстоянии не менее 0,2–0,3 м от оператора. При определении вертикальной составляющей поля центр линии поддерживается над землей на

постоянной высоте в интервале 1-1,5 м. В момент измерения электроды линии не должны касаться травы, кустов и веток деревьев.

8.3.3.7 При сильном ветре измерение малых уровней разностей потенциалов ΔU (50-100 мкВ) с помощью стелющейся линии осложнено интенсивными электрическими помехами, обусловленными электризацией изоляции провода. В этом случае необходимо повысить уровень измеряемых значений ΔU , увеличив выходной ток генератора или уменьшив разнос установки. Если эти меры окажутся недостаточными, необходимо перейти к наблюдениям с подвесной линией, следя за тем, чтобы при взятии отсчета ΔU провода линии не соприкасались с травой, кустами и деревьями.

8.3.3.8 Действующие и отключенные линии электропередачи, а также прочие свободно лежащие на земле длинные провода (например, провода взрывной магистрали) могут вызвать появление ложных аномалий ΔU . В связи с этим наличие таких проводов вблизи незаземленной приемной линии следует отмечать в полевом журнале с целью последующей отбраковки наблюдений при их камеральной обработке.

8.3.3.9 Незаземленная емкостная питающая линия состоит из двух отрезков изолированных проводов, стелющихся по земле. Внешние концы проводов изолируются, внутренние подключаются в центре линии к генератору тока. Эти провода служат незаземленными питающими электродами. У частично заземленной питающей линии лишь один из питающих электродов является незаземленным. Отекание тока с незаземленного электрода происходит благодаря «емкостной утечке», равномерно распределенной по его длине. При прокладке провода по траве и кустам высота его над землей не должна превышать 0,5-1 м. Активное сопротивление изоляции незаземленного питающего электрода должно быть более 10 МОм.

8.3.3.10 При электропрофилировании в модификации СГ наряду с заземленной питающей линией AB используются емкостная и индуктивная незаземленная питающие линии, выполненные проводом ГСП-0,35, -0,50.

Емкостная линия раскладывается в форме прямоугольной полупетли с основанием, параллельным профилям наблюдений. Планшет съемки располагается во внутренней области полупетли. Профиль, ближайший к основанию, должен быть удален от него на расстояние 150-200 м. Расстояние от провода полупетли до ближайшей к нему точки наблюдения определяется необходимой глубиной исследований. Полуразнос $l_{AB/2}$ питающей линии равен полудлине основания - обычно 300-600 м. Для параметров $\rho_{ЭП} \geq 10$ мкГн/м коэффициенты K установки вычисляются по формуле, m ,

$$K = \frac{K_{т.е.} l_{AB/2}^2}{2l_{MN/2}}, \quad (18)$$

где $K_{т.е.}$ - безразмерные коэффициенты, зависящие от геометрии установок, приведены в [13].

$l_{AB/2}, l_{MN/2}$, - полуразносы питающей и приемной линий, м.

Индуктивная линия укладывается в форме прямоугольной петли, замкнутой на генератор тока. Отношение длин боковой стороны к основанию петли 1:2, Основание ориентируется параллельно профилям наблюдений, расположенным во внешней области петли. Расстояние от основания петли до ближайшего профиля определяется необходимой глубиной исследований. Полуразнос $l_{AB/2}$ индуктивной линии равен полудлине основания петли - обычно 250-500 м. Для параметров $\rho_{ЭП} \geq 10$ мкГн/м электрическое поле петли практически не зависит от удельного сопротивления однородной среды. Расчет ρ_K для указанных значений $\rho_{ЭП}$ возможен лишь при известном значении среднего удельного сопротивления пород $\rho_{ср}$ участка съемки. В этом случае коэффициент K рассчитывается по формуле, m ,

$$K = \frac{\rho_{cp} \cdot 10^5}{2l_{MN/2} \cdot f} K_{т.у.} \quad (19)$$

где $K_{т.у.}$ - коэффициент, м/Гн;

ρ_{cp} - среднее удельное сопротивление пород, Ом*м;

$l_{MN/2}$ - полуразнос приемной линии, м;

f - частота, Гц.

8.3.3.11 Незаземленная емкостная питающая линия установки ДЭП собирается из двух отрезков гибкого кабеля в резиновой оболочке - типа РПШ-2х0,35, ШБРЛ-2х0,5 или аналогичного. Разнос (действующая длина) питающей линии равен длине отрезка, соединяющего геометрические центры электродов. Середина этого отрезка служит электрическим центром питающей линии. Разнос всей установки l_{00} определяется расстоянием между электрическими центрами питающей и приемной линий.

Частично заземленная питающая линия КЭП образована удаленным заземлением и одним незаземленным электродом, выполненным из гибкого кабеля. Разнос установки равен расстоянию между электрическим центром приемной линии и геометрическим центром незаземленного питающего электрода.

Для стабилизации разносов установки внутренние концы незаземленных электродов питающей и приемной линий рекомендуется соединять пеньковым шпагатом или капроновым шнуром.

8.4 Метод электрического зондирования

8.4.1 Электрическое зондирование (ЭЗ) - метод изучения геоэлектрического разреза по кривым зависимости кажущегося удельного сопротивления от расстояния между питающими и приемными электродами установки. Зондирование используется для изучения геоэлектрического разреза на глубину. Метод основан на наблюдении напряженности постоянного электрического поля или низкочастотного, по своим характеристикам не отличающегося от постоянного.

8.4.2 Работы по методу зондирования проводятся в различных масштабах.

8.4.3 Условия, благоприятные для применения метода электрического зондирования, следующие: пологие формы складчатости или подземного рельефа (углы наклона геоэлектрических границ до 20°), наличие опорного геоэлектрического горизонта, отсутствие экранирующих (высокого и низкого удельного сопротивления) горизонтов в надпорной толще. Метод вертикального электрического зондирования может применяться также для выявления структур с углами падения до 40—50°. В этом случае используется специальная методика с применением асимметричных установок.

8.4.4 Работы по методу ЭЗ проводятся на стадиях, связанных с геологическим картированием, с поисками и разведкой месторождений полезных ископаемых, при разведке структур, перспективных на нефть и газ, при съемках специального назначения: гидрогеологических и инженерно-геологических, а также при режимных наблюдениях за водными потоками. Результаты зондирования используются для изучения электрических, водно-физических и теплофизических свойств горных пород, а также для введения поправок в гравитационные наблюдения, оценки перспективности литогеохимических аномалий и т. д.

8.4.5 В зависимости от задач, размеров и глубин залегания объектов, наличия топографических карт наблюдения могут производиться по предварительно разбитой сети или с привязкой точек зондирования по карте. Крупномасштабные работы (масштаб 1:25000 и крупнее), как правило, ведутся по заранее разбитой сети.

8.4.6 Наблюдения по методу ЭЗ выполняются с различными установками, тип которых выбирается в зависимости от геологических задач и геоэлектрических условий работ. Работы, связанные с исследованиями на относительно небольших глубинах, ведутся преимущественно по схеме $AMNB$ и реже AMN, B_{∞} . Длина разноса l_{AB} редко

превышает 1-2 км. При глубинных исследованиях применяются дипольные установки.

Максимальная длина разносов определяется необходимостью отчетливой фиксации на кривой зондирования исследуемого опорного горизонта. Соответствующий этому горизонту прямолинейный участок кривой ВЭЗ, параллельный оси разносов или составляющий с ней угол, близкий к 45° , должен быть охарактеризован не менее чем тремя точками, расположенными не более чем через 2 см на стандартном логарифмическом бланке.

Рекогносцировочные зондирования выполняются с максимально большими разносами, предусмотренными проектом работ.

8.4.7 Направление разносов AB выбирается с учетом тектонических и геоморфологических особенностей района работ, условий проходимости местности удобства проведения работ.

Следует по возможности избегать пересечения проводами резко неоднородных толщ, залегающих вблизи дневной поверхности, железнодорожных рельсов, резких форм рельефа, рек, застроенных участков, трасс высоковольтных линий и т. д.

8.4.8 Положение точек заземлений при работе по схемам $AMNB$ и AMN, B_∞ определяется по длине проводов, которые предварительно размечаются в соответствии с принятыми интервалами разносов. При работе с дипольными схемами длина разносов определяется по разбитому пикетажу. Направление линий задается с помощью угломерных инструментов, а положение заземлений - по размеченному проводу.

8.4.9 При устройстве заземлений, особенно при работе с большими разносами, должны быть приняты все необходимые меры для уменьшения сопротивления заземлений.

В случае неблагоприятных условий заземления в данном пункте наблюдений положение электродов может быть смещено относительно заданной точки в место, более благоприятное для устройства заземления (например, с увлажненной почвой). Когда такие смещения вызывают изменения разносов и значений ρ_K не более чем на 1-2%, они не учитываются. При больших смещениях вносятся соответствующие поправки в значения разносов и коэффициента K .

При работах с установками $AMNB$ или AMN, B_∞ смещение заземлений предпочтительно делать перпендикулярно линии разносов. При этом смещение заземлений до значения $0,1l_{AO}$ может не учитываться. При дипольных зондированиях смещение точек питающих и приемных заземлений от заданного направления не должно превышать $0,02l_{AO}$ и $0,02l_{MN}$.

8.4.10 Заземления питающих линий устраиваются с помощью стальных или железных, а приемных при работе на постоянном токе - с помощью медных или латунных электродов. При работе со станциями приемные заземления устраиваются с помощью неполяризующихся электродов. Изменение разности электродных потенциалов неполяризующихся электродов не должно превышать 10 мкВ/мин.

В районах, где поверхностные рыхлые отложения имеют высокое удельное сопротивление, при больших разносах рекомендуется устраивать заземления на достаточно большой глубине, где действие пород высокого удельного сопротивления ослаблено.

8.4.11 При работах на малых разносах каждое заземление производится с помощью одного электрода. При увеличении размеров установок число электродов увеличивается. Расстояние между двумя соседними электродами должно быть более удвоенной длины заземленной части электродов. Заземление, состоящее из большого числа электродов, выполняется в виде круга, квадрата или прямой линии; в последнем случае электроды следует располагать примерно перпендикулярно направлению разносов. Длина всего заземления (расстояние между крайними электродами) или диаметр круга должны быть не более $0,1$ расстояния до ближайшего измерительного или питающего заземления. При малых, разносах необходимо следить, чтобы глубина погружения электрода в землю не

превышала 0,1 расстояния до ближайших заземлений. Изложенные требования связаны с необходимостью соблюдения точечности заземлений, следующей из теории.

8.4.12 Зондирование с разносами 1-2 км производится на постоянном токе с помощью электронных компенсаторов типа ЭРА, ЭРП-1, АЭ-72, а в случае благоприятных условий (малое влияние индукции и емкостной утечки питающего провода) - на переменном токе с помощью аппаратуры типа АНЧ-3. Электронные компенсаторы могут применяться до разносов 1-2 км, если отсутствуют заметный процесс становления поля, а также интенсивные блуждающие и теллурические токи. В неблагоприятных условиях зондирования с разносами более 2 км следует производить с электроразведочной станцией.

8.4.13 При выполнении зондирования с небольшими разносами в качестве источников питания используются батареи типа 29-ГРМЦ-13, 69-ГРМЦ-6 и в отдельных случаях (в условиях геоэлектрического разреза с высоким удельным сопротивлением) - батареи серии ПМЦГ, АМЦГ и другие с напряжением 100-400 В, преобразователи напряжений 12-400 В, работающие от автомобильных аккумуляторов.

При разносах более 1 км рекомендуется использовать электроразведочные генераторы.

8.4.14 При производстве полевых работ с электроразведочной станцией необходимо строго соблюдать правила техники безопасности.

8.4.15 Перед началом работы электроразведочная станция должна быть проверена на утечку с помощью мегомметра. Сопротивление изоляции регистрирующих каналов ΔU относительно корпуса должно быть не менее 5 МОм.

При хорошей изоляции проводов и сухой почве контроль утечки в методе ЭЗ по схеме *AMNB* производится при переходе с минимальной приемной линии на следующую и при максимальных разносах *AB*. При сырой погоде, влажной почве, низком качестве проводов и в других случаях, когда контрольные измерения показывают заметное влияние утечек, контроль на утечку производится на каждой приемной линии при максимальных разносах *AB* для данной линии *MN*. При работе с дипольными установками контроль утечки в линиях производится при максимальном значении разноса *AB*. Влияние утечки считается допустимым, если сумма разностей потенциалов, измеренных при попеременном отключении электродов *A* и *B*, не превышает 5 % измеряемой разности потенциалов (наблюденной с обоими включенными заземлениями). В схемах, при которых влияние утечки проверяется при отключении только одного электрода, вместо суммы берется только одна измеренная разность потенциалов. При измерении утечки выполняются требования техники безопасности. Данные при проверке на утечку фиксируются в полевом журнале.

8.4.16 При сильных вариациях поля теллурических токов перед началом измерений и после окончания рабочего цикла (импульсы ΔU) рекомендуется в течение 1-2 мин регистрировать вариации поля теллурических токов.

8.4.17 Перед началом работ в том или ином районе с использованием приемных линий длиной 1,5-2,0 км необходимо надежно определить время максимальной интенсивности поля теллурических токов на основе круглосуточных наблюдений вариаций теллурических токов и составить расписание рабочего дня партии таким образом, чтобы измерения на больших разносах выполнялись при минимальной интенсивности вариаций поля теллурических токов.

8.4.18 Измерительная аппаратура электроразведочных станций должна проверяться и эталонироваться в соответствии с требованиями заводских технических инструкций по эксплуатации. До и после ремонта, затрагивающего узлы градуировочного устройства и токовые шунты, производится внеочередная эталонировка. Относительное расхождение результатов двух смежных эталонировок является допустимым, если оно не превышает 2 %.

8.4.19 Во всех точках, где нарушается закономерный ход кривых кажущегося

сопротивления (ρ_K), должны проверяться правильность размеров и ориентировки (при дипольных схемах) линий, братьясь повторные отсчеты, производиться проверки на утечку в линиях (при работе с установками $AMNB$ и $AMN, B\infty$), особенно при резком изменении сопротивлений заземлений.

8.4.20 При повторных измерениях отклонение значений ρ_K от их среднего арифметического не должно превышать $\pm 5\%$. Абсолютная разность средних арифметических значений ρ_K контрольного и основного зондирования для каждого разноса не должна превышать 5% . На больших разносах при трудных условиях измерений допускается абсолютное значение относительной разности до $\pm 7\%$.

В случае исследования слабоконтрастных разрезов и при необходимости получить более точно кривую ρ_K проводят съемку повышенной точности с абсолютным значением относительной разности наблюдений до 3% . Это достигается сгущением интервалов разносов, увеличением числа повторных измерений на одних и тех же разносах и обеспечением соответствующей силы тока.

При зондированиях, выполняемых при решении задач инженерной геологии и гидрогеологии в условиях меняющегося во времени геоэлектрического разреза, для обеспечения абсолютного значения относительной разности наблюдений до 5% контрольные измерения должны проводиться в максимально сжатые сроки. С этой целью при режимных наблюдениях гидрогеологического характера допускается проведение контрольных измерений одновременно с основными по другим приборам. Отклонение от требуемых $\pm 5\%$ могут составлять закономерные смещения начальных кривых, вызванные промерзанием (оттаиванием) или высыханием (увлажнением) поверхностного слоя пород. Такие участки кривых, если установлены причины смещения, при оценке общей точности наблюдений могут в расчет не приниматься.

8.4.21 Для выяснения возможных искажений, связанных с горизонтальной неоднородностью разреза, должны быть выполнены «крестовые» зондирования в точках, равномерно расположенных по всей площади исследования, а по профилям проведено электропрофилирование. Крестовые зондирования производятся также в тех случаях, когда по характеру полученной кривой можно предполагать резкое проявление горизонтальной неоднородности. В тех точках, где получены резко различные кривые зондирования, должны быть выполнены вспомогательные наблюдения еще в одном азимуте. Зондирования у скважин, зондирования в процессе рекогносцировочных работ и в других особых случаях должны выполняться при двух взаимно перпендикулярных разносах.

Число крестовых зондирований определяется из условия не менее 3% к общему числу зондирований, включая обязательные зондирования у всех (или большинства) скважин, находящихся на исследуемой площади. Если таких скважин нет, то необходимо выполнить зондирование у скважин, расположенных поблизости от района работ в сходных геоэлектрических условиях.

В специальных случаях для установления степени и преимущественного направления горизонтальной неоднородности (например, при поисках и разведке трещинно-карстовых вод) выполняются круговые зондирования по четырем азимутам через 45° .

8.4.22 При работе с аналоговой аппаратурой типа АЭ-72, АНЧ-3 и др. результаты наблюдений записываются в полевой журнал по форме, приведенной в приложении И. Параллельно вычерчивается кривая зондирования на логарифмическом бланке с модулем $6,25$ см (рекомендуется вниз откладывать характеристики разноса: $l_{AB/2}$ или действующие расстояния \bar{L} , вправо – ρ_K). До нанесения на бланк результата измерений при данном разносе переход на следующие разносы не разрешается.

При использовании современной цифровой аппаратуры графики зондирования представляются в цифровом виде непосредственно в процессе измерений с помощью соответствующего программного обеспечения, входящего в комплект аппаратуры, либо

ТКП 17.04-40-2012

изображаются на экране монитора.

8.4.23 Центры вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) рекомендуется располагать на прямолинейных профилях, направление которых совпадает с направлением разносов питающей и приемной линий (за исключением маршрутных съемок).

8.4.24 ВЭЗ выполняется с установкой $AMNB$. Для выбора длины разносов AB и MN следует выбирать исходя из проектной глубины зондирования и геоэлектрического разреза.

Коэффициент $K_{ВЭЗ}$ и кажущееся удельное сопротивление ρ_K рассчитываются по формулам:

$$K_{ВЭЗ} = \frac{\pi l_{AN} \cdot l_{AM}}{l_{MN}} \quad (20)$$

$$\rho_K = \frac{K_{ВЭЗ} \cdot \Delta U}{I} \quad (21)$$

где l_{AN} , l_{AM} , l_{MN} - соответствующие расстояния между электродами, м;

I - сила тока, мА;

ΔU - разность потенциалов, мВ.

Если сила тока дается в миллиамперах, коэффициент $K_{ВЭЗ}$ уменьшается в 10 раз, в амперах - в 1000 раз. Необходимо учитывать, что значения ρ_K , рассчитанные по формуле (21), при измерении на переменном токе практически совпадают со значениями ρ_K , измеренными на постоянном токе, лишь при значениях параметра $\rho/l_{AB/2}^2 \cdot f$ больше 25-50 мкГн/м.

Наблюдения на первых двух разносах с линией до $AB/2=1 \div 2$ м могут быть опущены, если нет необходимости изучения удельного сопротивления или расчленения приповерхностного слоя геоэлектрического разреза.

При применении других разносов AB и MN следует придерживаться следующих правил. Точки на кривой ВЭЗ, изображенной в логарифмическом масштабе, по линии разносов должны располагаться более или менее равномерно; начальная длина разноса AB должна быть выбрана такой, чтобы на кривой зондирования выделялся слой с удельным сопротивлением ρ_1 ; отношение длины последующего разноса AB к длине предыдущего не должно превышать 1,5-1,7; отношение длины разноса l_{AB} к длине l_{MN} должно быть не менее 3,0; максимальное отношение l_{AB} к l_{MN} определяется наименьшим значением разности потенциалов, допустимым для измерения в каждом конкретном случае. Рекомендуемые разносы питающих и приемных линий приведены в приложении К.

8.4.25 При переходе от одних разносов MN к другим обязательно перекрытие кривой ВЭЗ минимум в двух точках.

8.4.26 Размотку проводов при выполнении ВЭЗ следует вести по предварительно провешенному профилю или направлять по прямой с помощью естественных визиров или компаса. Следует избегать отклонения от прямолинейной прокладки проводов на угол, больший 10° .

Измерение расстояний между заземлениями должно проводиться с систематической погрешностью не более 1%. В тех случаях, когда расстояния между ближайшими заземлениями не превышают 3 м, повторяемость (сходимость) измерения расстояний допускается до 3 %.

При работе с большими разносами AB для уменьшения влияния индукции приемную линию MN следует относить в сторону по перпендикуляру к направлению разносов питающей линии на расстояние, не превышающее 0,1 длины разносов питающих электродов.

8.4.27 Зондирования с разносами более 1 км рекомендуется производить с двумя питающими линиями АВ: малой – до 1000 м и большой – свыше 1000 м. При выполнении ВЭЗ по профилям с расстоянием между центрами зондирований, равным или меньшим половины наибольшего разноса l_{AB} , рекомендуется применять конвейерный способ размотки проводов.

8.4.28 При выполнении ВЭЗ с разносами $l_{AB} < 250$ м связь может осуществляться посредством сигнализации свистком, флажком и т.д.; на больших разносах l_{AB} применяется радиосвязь с помощью маломощных радиостанций типа TLKR-T7.

При использовании низкочастотной аппаратуры типа АНЧ генератор рекомендуется располагать у одного из питающих заземлений или на достаточном удалении от приемной линии.

8.5 Метод вызванной поляризации

8.5.1 Метод вызванной поляризации (ВП) основан на изучении вторичных, электрических полей, возникающих в горных породах под действием электрического тока и имеющих электрохимическое происхождение, связанное с процессами на контакте твердого вещества и внутриводной влаги. Процессы ВП наиболее интенсивны на контакте внутриводного электролита с минералами, обладающими высокой электронной или дырочной проводимостью. К таким минералам относятся большинство сульфидов, некоторые окислы, графит. Процессы ВП на контакте электролита с минералами низкой удельной электропроводности имеют электрокинетический характер, их интенсивность в значительной степени зависит от состава и концентрации электролита и от структуры пор.

8.5.2 Метод ВП может применяться на всех стадиях геологоразведочного процесса – от изучения геологического строения районов с целью оценки их рудоперспективности, выявления площадей и участков, перспективных на нахождение месторождений, поисков месторождений полезных ископаемых до получения данных о морфологии и элементах залегания рудных тел и оценки их промышленной значимости, изучения флангов и глубоких горизонтов эксплуатируемых месторождений, уточнения контуров рудных тел.

Месторождения полезных ископаемых могут выявляться методом ВП как за счет присутствия в них промышленно важных минералов, так и за счет влияния сопутствующих непромышленных минералов. Метод может применяться при поисках отдельных типов железорудных, марганцевых, ванадиевых, медно-никелевых, кобальтовых, висмутовых, медных, полиметаллических, золоторудных, молибденовых, вольфрамовых, оловорудных, сурьмяных, ртутных, урановых, угольных, нефтяных и других месторождений.

Метод ВП может применяться также для решения гидрогеологических и инженерных задач, например для определения уровня грунтовых вод, литологического расчленения разреза песчано-глинистых отложений, количественной оценки засоленности пород зоны аэрации и степени минерализации подземных вод.

8.5.3 Работы по методу ВП могут быть площадными и профильными. При площадных съемках сеть наблюдений зависит от масштаба геологосъемочных и поисковых работ (от 1:200000 до 1:5000 и крупнее), в соответствии со стадийностью проводимых работ.

Профильные измерения по методу ВП проводятся обычно для целей рекогносцировки, а также при детализационных работах и проверке аномалий, выявленных другими методами.

8.5.4 Метод ВП применяется с использованием импульсов постоянного тока или переменного тока. При измерениях на постоянном токе параметром ВП служит кажущаяся поляризуемость η_K – отношение разности потенциалов, измеренной через определенное время после выключения тока, $\Delta U_{ВП}$ к разности потенциалов, измеренной во время пропускания тока, ΔU_{np} , выраженное в процентах:

$$\eta_K = (\Delta U_{ВП} / \Delta U_{np}) \cdot 100 \quad (22)$$

При измерениях на переменном токе эффект ВП выражается или через параметр $\varphi_{ВП}$, названный фазовым сдвигом ВП и определяемый через сдвиг фазы напряжения на приемных электродах относительно фазы тока в питающей линии или через кажущийся коэффициент частотной дисперсии K_d , определяемый по уменьшению напряжения на приемных электродах при увеличении частоты тока.

При работах обязательно получение данных о кажущемся удельном сопротивлении ρ_K , вычисляемом по формуле

$$\rho_K = K \cdot \Delta U_{np} / I \quad (23)$$

где I – сила тока в питающей линии;

K – геометрический коэффициент установки;

ΔU_{np} – напряжение на приемных электродах в фиксированный момент пропускания постоянного тока или на низкой частоте переменного тока.

8.5.5 Наиболее полная информация об исследуемых объектах в методе ВП может быть получена при изучении переходных или частотных характеристик. Под переходной характеристикой напряжения ВП (или поляризуемости η_K) $F(t_n)$ подразумевается их зависимость от времени после включения постоянного тока t_n . Под частотной характеристикой $F(\omega)$ подразумевается зависимость вещественной $Re F(\omega)$ и мнимой $Im F(\omega)$ компонент напряжения ВП или его модуля $|F(\omega)|$ и аргумента $arg F(\omega)$ от угловой ω частоты ($\omega = 2\pi f$). При анализе переходных характеристик наряду с поляризуемостью η_K вводится понятие дифференциальной кажущейся поляризуемости $\Delta\eta_K$, производной от η_K по десятичному логарифму времени, и временного параметра t_m – абсциссы точки максимума функции $\Delta\eta_K$. Для ионопроводящих пород значение t_m располагается в диапазоне тысячных – десятых долей секунды, для вкрапленных руд – десятков-сотен секунд и для прожилковых и сплошных руд – тысяч секунд.

Аналогичной информативностью обладает частотная характеристика фазового сдвига (аргумента) напряжения ВП, например, отдельные максимумы фазовой характеристики располагаются в диапазоне сотен-десятков герц для безрудных и ионопроводящих пород, а при наличии прожилковых и сплошных руд – в пределах тысячных и десятитысячных долей герца. Различия в значениях временных (частотных) характеристик (параметров) для различных типов руд и пород используются для разбраковки аномалий ВП и определения их геологической природы.

8.5.6 Все параметры, применяемые в методе ВП на постоянном и переменном токе, имеют между собой строгую взаимосвязь. При соблюдении условия $t_n \omega = (\sqrt{\pi})^{-1} = 0,56$ (t_n – в секундах, ω – в радианах в секунду) из равенства переходной характеристики напряжения ВП на постоянном токе $F(t_n)$ и вещественной составляющей напряжения ВП на переменном токе $Re F(\omega)$ вытекает, что значению $\varphi_{ВП}$ в 1° соответствует значение дифференциальной кажущейся поляризуемости $\Delta\eta_K$, равное 3%.

8.5.7 С целью повышения производительности работ измерения в методе ВП осуществляются на дискретных временах и частотах, определяемых общим понятием «режим измерений».

8.5.7.1 В практике работ по методу ВП на постоянном токе применяют три режима:

- а) одиночный прямоугольный импульс тока;
- б) однополярные периодические прямоугольные импульсы тока;
- в) разнополярные периодические прямоугольные импульсы тока.

Первый режим применяется как для рядовых измерений, так и при изучении переходных характеристик ВП в широком интервале времени, когда длительность импульсов последовательно возрастает. Второй и третий режимы применяются при массовых полевых наблюдениях. Рабочий интервал относительно переходной

характеристики располагается от t_c до $t_3 + t_c$, где t_3 – длительность импульса тока, t_c – время отсчета напряжения ВП относительно момента выключения тока. Выбор рабочего интервала времени производится с учетом значения временного параметра t_m для интересующих объектов. Аналогичным образом с учетом значения частотного параметра выбирается рабочая частота (или интервал частот) при работах методом ВП на переменном токе.

8.5.7.2 В методе ВП на переменном токе применяются два режима работы. Первый режим состоит в измерении полных частотных характеристик в диапазоне, обеспечиваемом техническими возможностями конкретного вида аппаратуры. Работа в этом режиме проводится при детализационных исследованиях, а также для оценки индукционных влияний. Второй режим – одночастотные или дифференциальные двухчастотные измерения на оптимальных рабочих частотах. Работа во втором режиме производится при площадных съемках.

8.5.7.3 Рекомендуемые формы полевых журналов приведены в приложениях Л, М, Н.

8.5.8 При работах методом ВП могут быть использованы все модификации, применяемые при электропрофилировании и электрическом зондировании, а также ортогональные установки с взаимно перпендикулярным расположением питающих линий.

8.5.8.1 При поисковых работах методом ВП на постоянном токе и достаточно большой силе тока в питающей линии следует применять электропрофилирование в модификации градиента (ВП–СГ) с неподвижными питающими электродами. Профили наблюдений прокладываются параллельно питающей линии, ориентированной вкрест простирания искомых объектов. Разносы приемных электродов должны быть не больше горизонтальной мощности искомых объектов по линии профиля. Вместе с тем они должны обеспечивать минимальный возможный уровень сигнала, который может быть измерен с данной аппаратурой и при данных условиях. Шаг наблюдений во всех случаях не должен превышать горизонтальных размеров искомых объектов по линии профиля. В случае двухслойной среды для получения аномалии от объекта, верхняя кромка которого залегает на глубине h_2 , l_{AO} при съемке в модификации градиента при $h_2 > d_1$, определяется по формуле

$$l_{AO} \geq 5 \cdot \left(h_2 + \frac{d_1 h_2 \rho_2}{d_1 + h_2 \rho_1} \right) \quad (24)$$

где d_1 и ρ_1 – соответственно мощность и удельное сопротивление верхнего слоя;

ρ_2 – удельное сопротивление нижнего слоя.

Измерения по центральному профилю могут проводиться в средней части питающей линии (длина рабочего участка $l_{AB/2}$), а также по всей его длине с выходом за питающие электроды. Измерения могут проводиться также по профилям, параллельным центральному, расположенным от него не более чем на $l_{AB/4}$ (как правило, длина рабочего участка $l_{AB/2}$).

8.5.8.2 При поисках и прослеживании крутопадающих пластообразных и жильных тел пользуются модификации дипольного или комбинированного электропрофилирования. Оценка оптимальных разносов, например, для установки ВП–КЭП может быть проведена по формуле

$$l_{AO} = 2 \cdot \left(h_2 + \frac{d_1 h_2 \rho_2}{d_1 + h_2 \rho_1} \right) \quad (25)$$

при $h_2 \geq d_1$.

8.5.8.3 При измерениях на переменном токе в открытых районах рекомендуется в качестве основной использовать модификацию градиента с неподвижными питающими линиями. Разнос питающих электродов, расстояние от питающей линии до точки

ТКП 17.04-40-2012

измерения и расположение проводов линии AB должны быть такими, чтобы обеспечить отсутствие индукционных влияний на сдвиг фазы и $\tilde{\rho}_K$ в пункте наблюдений на данной рабочей частоте. В закрытых районах следует применять модификацию с ортогональным расположением питающей и приемной линий. Длина питающей линии выбирается так же, как и при электропрофилировании в модификации градиента. Профили для измерений располагаются как внутри питающей линии, так и за ее пределами. Длина профилей не менее длины питающей линии.

8.5.9 Для изучения горизонтально залегающих пластообразных тел и определения глубины залегания искомых объектов используются модификации электрического зондирования (ВП-ЭЗ).

8.5.10 Детализация выявленных аномалий ВП проводится для:

- уточнения местоположения поляризующихся объектов, их формы и размеров;
- определения элементов их залегания;
- выяснения геологической природы аномалий.

Для выяснения геологической природы аномалий проводится изучение временных или частотных характеристик на отдельных точках в пределах аномалий, изучаются нелинейные характеристики поля ВП и проводятся наблюдения комплексом геохимических и геофизических методов. Методы, включаемые в комплекс, зависят от вида полезного ископаемого.

8.5.11 Проектирование работ по методу ВП ведется в соответствии с требованиями, изложенными в разделе 6 настоящего ТКП.

Дополнительно к требованиям этого раздела в проекте работ по методу ВП должны быть рассмотрены:

- сведения о распределении электронно-проводящих минералов в рудных телах и вмещающих породах, о наличии в районе работ пиритизированных, пирротинизированных, графитизированных и других пород, содержащих электронно-проводящие минералы, и об их генетической и пространственной связи с промышленным оруденением;

- сведения о поляризуемости руд и вмещающих пород, полученные при измерениях на штучных образцах с помощью лабораторных установок или в результате скважинных работ (каротаж ВП);

- условия проведения и результаты ранее выполненных работ по методу ВП;

- уровень и характер электрических помех в районе работ;

- требования к параметрам генераторной группы, зависящие от разносов электродов, удельного сопротивления пород, уровня и характера помех;

- результаты опытных исследований по выбору вида приемной установки, ее размеров и оптимального временного режима измерений;

- сведения об уровне электродинамических эффектов, связанных с индуктивным взаимодействием питающей и приемной линий для выбранных установок при измерениях на переменном токе.

8.5.12 При проведении работ методом ВП используется аппаратура, различающаяся по своей мощности, способу возбуждения поляризующего поля, изучаемым характеристикам, транспортабельности, помехоустойчивости, – типа СВП-74, ЭВП-203, РНОЕНИХ, ИВП-01, ИМВП с генератором ВП-1000 и др. Каждая станция должна быть опробована на специально выбранном эталонном профиле-полигоне, включая участки типичных нормальных и аномальных полей поляризуемости.

8.5.13 Источник поляризующего тока должен обеспечить силу тока в питающей линии

$$I \geq \frac{10 \cdot U_n \cdot K}{\rho_k \cdot \eta_k}, \quad (26)$$

где I - сила тока, А;

U_n - уровень помех, B (в рабочем интервале частот или до выбранном временном режиме измерений);

K - коэффициент установки, м;

ρ_K - кажущееся удельное сопротивление, Ом · м;

η_K - кажущаяся поляризуемость, отн. ед.

Постоянство силы поляризующего тока во время измерений должно быть обеспечено с систематической погрешностью не более 3%.

Сопротивление изоляции силовых цепей в генераторной группе должно быть не менее 10 МОм.

8.5.14 Измерительная аппаратура должна иметь входное сопротивление не менее 1 МОм и обеспечивать возможность измерения напряжения на приемных электродах на всех пределах с относительной приведенной повторяемостью (сходимостью) не более 2.5 %. Аппаратура для метода ВП на постоянном токе должна иметь компенсаторы, с помощью которых обеспечивается компенсация естественной разности потенциалов между приемными электродами в пределах до ± 200 мВ.

8.5.15 В качестве приемных электродов должны использоваться неполяризующиеся электроды с собственной поляризацией не более 2 мВ; скорость ее изменения должна быть достаточно малой, чтобы обеспечить измерения разности потенциалов ВП с указанной в ТКП точностью. Правила подготовки электродов к работе и ухода за ними те же, что и для метода естественного электрического поля.

При измерениях на переменном токе на частотах 0,3 Гц и выше допустимо использование металлических электродов.

8.5.16 В питающей линии необходимо использовать провода с низким электрическим сопротивлением токонесущих жил и высоким сопротивлением изоляции (типа ГПМП или ГПСМП). Сопротивление изоляции провода питающей линии погонной длиной 1 км должно быть не менее 1 МОм.

8.5.17 В приемной линии следует использовать легкие многожильные провода с прочной изоляции, имеющей высокое сопротивление (типа ГСП-0,5). Сопротивление изоляции приемной линии должно быть не менее 10 МОм.

8.5.18 Начальник партии (отряда) или главный (ведущий) геофизик совместно с оператором до начала полевых работ должен ознакомиться с участком, наметить места размещения генераторной и приемной установок и пути подъезда или подхода к ним, определить места размещения питающих заземлений, а также оценить характер и уровень возможных помех.

8.5.19 Работа на участке начинается с монтажа питающей линии и устройства питающих заземлений. Низкое переходное сопротивление заземлений обеспечивается использованием металлических штыревых электродов, труб, листов, а также устройством заземлений в сырых местах или поливкой грунта подсоленной водой. Для обеспечения стабильности поляризующего тока его плотность в расчете на единицу поверхности заземлителя не должна превышать 1 мА/см². Допускается смещать питающие заземления по профилю или в сторону на более благоприятные для заземления места. Положение питающих заземлений A и B фиксируется в полевом журнале и учитывается при вычислении ρ_K .

8.5.20 На профиле наблюдений подготавливаются приемные линии и лунки для последующей установки неполяризующихся электродов (при сухом грунте лунки под электроды заранее поливают водой).

8.5.21 Оператор измерительной установки (ИУ) производит все необходимые - соединения блоков аппаратуры и проверяет ее в соответствии с требованиями инструкции по эксплуатации.

Оператор генераторной установки (ГУ) проверяет готовность установки и состояние питающей линии. Включение тока в питающей линии проводится по команде оператора ИУ, который начинает производство наблюдений.

При работе методом ВП с измерением $\varphi_{ВП}$ наблюдения начинаются с определения фазового сдвига в питающей линии.

8.5.22 Данные измерений на точке фиксируются в полевом журнале или в электронном виде, после чего оператор ИУ дает указания бригаде о переходе на следующую точку наблюдений.

8.5.23 При производстве работ в условиях сильных помех для получения достоверных данных могут быть использованы следующие приемы:

- проведение измерений на переменном токе;
- проведение измерений в интервалах времени, когда интенсивность помех минимальна (суточные минимумы активности теллурических токов, выходные дни рудников) и т. д.;
- увеличение силы поляризующего тока;
- проведение многократных наблюдений (накопление);
- уменьшение времени зарядки (изменение частоты).

Необходимо отметить, что использование рекомендаций последнего пункта должно проводиться с учетом временных (частотных) параметров исследуемых объектов.

8.5.24 При измерениях оператор ИУ должен оценивать влияние электродинамических (индукционных) эффектов на результаты измерений. Признаками появления чрезмерно больших электродинамических (индукционных) эффектов являются смена знака напряжения ВП на ранних временах переходной характеристики, положительные значения $\varphi_{ВП}$ или, при измерениях амплитуды, рост ρ_K увеличением частоты.

8.5.25 Высокая повторяемость (сходимость) наблюдений в методе ВП обеспечиваются надлежащей подготовкой и квалификацией персонала, исправным состоянием аппаратуры, строгим соблюдением правил техники полевых измерений, систематическим контролем за работой со стороны начальника партии (отряда), главного (ведущего) геофизика.

8.5.26 Повторяемость (сходимость) наблюдений проверяется путем повторных и контрольных измерений.

Повторные измерения (без изменения режимов и перестановки электродов) проводятся систематически через 10 точек в спокойном поле, через 5 – в аномальном, а также на точках, измеренных в условиях сильных помех или не согласующихся с общим ходом измеряемых величин.

Контрольные измерения проводятся при иной силе поляризующего тока или спустя некоторое время после первых измерений (на следующий день или позже). Общий объем контрольных измерений должен составлять не менее 5 %, в условиях сильных помех он может достигать 20-30 %.

8.5.27 Повторяемость (сходимость) измерений на отдельной точке оценивается по относительной погрешности, %,

$$\delta = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_{cp}|}{|x_{cp}|} \cdot 100, \quad (27)$$

где δ – относительная повторяемость (сходимость);

x_i – измеренное значение наблюдаемой величины;

x_{cp} – среднее арифметическое измеренных значений;

n – число измерений на точке.

Средняя относительная повторяемость (сходимость) съемки на участке работ вычисляется как среднее арифметическое из погрешностей измерений на отдельных точках. При нормальных условиях наблюдений в ВП на постоянном токе средняя относительная повторяемость (сходимость) не должна превышать 5 % для измерений кажущейся поляризуемости η_K и 2,5 % – для кажущегося удельного сопротивления.

Первую оценку точности делают в процессе полевых работ.

На переменном токе, в фазовой модификации метода ВП мерой точности является абсолютная повторяемость (сходимость) – средняя арифметическая разность основных и контрольных наблюдений. В нормальных условиях наблюдений средняя абсолютная повторяемость (сходимость) измерений не должна превышать $0,15^\circ$. Работа в нормальных условиях предполагает отсутствие существенных помех.

При проведении измерений ВП над рудными объектами, обладающими высокой электрохимической активностью, иногда может наблюдаться плохая воспроизводимость повторных измерений, выполненных сразу же после основных измерений, при иной силе поляризующего тока, что вызвано динамикой электрохимических процессов, обуславливающих в конечном итоге значение $\Delta U_{ВП}$. В этих условиях повторные измерения следует проводить только на следующий день или позже и качество работ оценивать по совпадению общей конфигурации графиков.

8.5.28 При многократных измерениях η_K в условиях сильных помех допускается брать в расчет группу измерений (не менее 60 % от их общего числа), удовлетворяющую требуемой точности, и по ней вычислять средние арифметические значения измеренных величин.

8.5.29 Основным первичным документом при работе по методу ВП является полевой журнал, а также электронные файлы, предусмотренные программным обеспечением применяемой аппаратуры.

Форма записи в журнале зависит от типа измерительной аппаратуры и должна соответствовать форме, рекомендованной инструкцией по эксплуатации аппаратуры, и способу последующей обработки данных. При ручной обработке данных она должна соответствовать форме, рекомендованной инструкцией по эксплуатации аппаратуры. При обработке на ПЭВМ форма записи в журнале определяется инструкцией по эксплуатации соответствующей автоматизированной системы.

При использовании аналоговой аппаратуры в полевой журнал вносят: дату, наименование участка, сеть съемки, схему установки, длину разносов, взаимное расположение питающей и приемной линий, положение питающих и приемных электродов, сведения о режиме измерений.

В процессе наблюдений в журнал вносят: напряжение и силу поляризующего разность потенциалов на приемных электродах во время пропускания тока и через определенное время после его выключения. При измерениях с длительными зарядками для обеспечения контроля за качеством измерений в журнале записывают значение остаточного напряжения на приемных электродах через 15 с, 30 с, 1 мин и т. д. после выключения поляризующего тока. При фазовых измерениях в журнале регистрируются отсчеты по фазометру. В графу «Примечание» вписывают данные о неисправностях во время работ, повторности измерений, уровне и характере помех, изменении погоды, список нестандартных обозначений.

Формы журнала для наблюдений методом вызванной поляризации с изменением фазового сдвига (инфаз ВП) в одночастотном режиме и журнала для наблюдений методом вызванной поляризации с изменением фазового сдвига (инфаз ВП) в двухчастотном режиме приведены в приложениях П и Р.

8.5.30 Графики значений η_K , $\varphi_{ВП}$, ρ_K , полученных с установками профилирования оформляются с помощью ПЭВМ, либо вычерчиваются на миллиметровой бумаге с указанием названия партии (отряда), участка работ, установки, разносов, режима измерений, номеров журналов и лент, горизонтального и вертикального масштабов, условных обозначений. Если работы ведутся в модификации градиента, то указываются положения питающих заземлений и соответствующие этим положениям части графиков.

На графики наносятся результаты повторных и контрольных измерений.

Горизонтальный масштаб берется в соответствии с масштабом съемки или крупнее. Переход на более крупный масштаб обязателен, если расстояние между точками

ТКП 17.04-40-2012

наблюдений на графиках менее 2 мм.

Вертикальный масштаб графиков должен обеспечивать наглядное представление о величине и форме аномалий. В качестве стандартных вертикальных масштабов рекомендуются:

для η_K в 1 см – 1; 2; 5%,

для $\varphi_{ВП}$ – 0,5; 1; 2°,

для ρ_K – 50, 100, 200, 500, 1000 и 2000 Ом·м.

Отдельные части графиков, масштаб которых оказался слишком мелким или крупным, повторяют дополнительно в более удобном масштабе. Графики подписываются оператором и вычислителем.

8.5.31 Графики величин, полученных при работе в модификации зондирования вычерчиваются на стандартных логарифмических бланках. В верхней части бланка указываются участок работ, наименование партии (отряда), местоположение номер зондирования, режим измерений, номер журнала, а также условные обозначения. Бланк подписывается оператором и вычислителем. В конце и начале графиков надписывают значения полученных величин η_K , ρ_K и др.

При зондировании вблизи буровой скважины на бланке вычерчивают геологическую колонку. Результаты интерпретации ВП-ВЭЗ также указывают на бланке. Графики величин, полученных при изучении временных характеристик η_K , вычерчиваются на полулогарифмических бланках, а при изучении фазовых частот-характеристик – на двойном логарифмическом бланке.

Полевая обработка материалов должна проводиться ежедневно.

8.5.32 В задачу камеральной работы входит окончательная обработка полевых материалов, их интерпретация и составление отчета. При камеральной обработке производятся выборочная проверка вычислений и правильности обработки осциллограмм, проверка оценки точности наблюдений по участкам и видам работ, определение временных и частотных параметров изучаемых объектов, вычерчивание необходимых графических приложений к отчету.

В результате камеральной обработки должны быть представлены следующие материалы:

1) обзорная карта района работ с расположением участков;

2) геологическая карта, на которой указывается расположение профилей, точек зондирования, точек изучения временных (частотных) характеристик. На карту наносят контуры аномалий ВП и наиболее существенных аномалий других методов, необходимых для оценки природы и перспективности аномалий ВП;

3) сводные планы графиков η_K , $\varphi_{ВП}$, ρ_K .

Представление результатов площадных съемок только в виде планов изолиний недопустимо; если работы на участке выполнялись в различных временных режимах, для построения сводных графиков необходимо провести пересчет на единый временной режим;

4) альбомы графиков зондирования с результатами интерпретации;

5) альбомы графиков временных (частотных) характеристик;

6) планы и разрезы с результатами геологической интерпретации данных метода ВП (положение, размеры аномальных объектов, глубина их залегания, падение, протяженность на глубину).

8.5.33 В процессе камеральной обработки на основании рассмотрения материалов метода ВП в сопоставлении с геологическими, геохимическими и геофизическими данными делаются заключения о природе аномалий ВП, выявляются перспективные аномалии и участки, даются рекомендации по детализации выявленных аномалий и намечаются места заложения горных выработок и буровых скважин. Во всех случаях, когда это возможно, производится количественная интерпретация результатов, вплоть до

прогнозного подсчета запасов.

Качественная и количественная интерпретация полученных данных ведется способами, изложенными в методической литературе [14].

Окончательным документом о результатах работ является отчет, составляемый в соответствии с [15].

8.6 Магнитотеллурические методы

8.6.1 Магнитотеллурические методы электроразведки включают: метод магнитотеллурических (МТЗ) и магнитовариационных (МВЗ) зондирований, метод магнитотеллурического профилирования (МТП), метод теллурических токов (ТТ), метод магнитовариационного профилирования (МВП), метод комбинированного магнитотеллурического профилирования (КМТП) и метод комбинированного магнитотеллурического зондирования (КМТЗ), основанные на изучении вариаций естественного электромагнитного поля Земли.

Применение этих методов в том или ином сочетании между собой или с другими методами электроразведки зависит от решаемых геологических задач и особенностей геоэлектрического разреза изучаемого региона.

8.6.2 Магнитотеллурические и магнитовариационные зондирования являются разновидностью частотных электромагнитных зондирований (в данном случае с естественным источником поля). При выполнении МТЗ–МВЗ регистрируют вариации двух горизонтальных составляющих теллурического поля E и двух (МТЗ) или трех (МТЗ–МВЗ) составляющих магнитного поля H с периодом от долей секунд до десятков минут. Для исследования удельной электропроводимости глубоких слоев земли изучаются часовые и суточные вариации магнитотеллурического поля.

8.6.3 Метод МТЗ–МВЗ применяется для изучения характера геоэлектрического разреза, выделения комплексов пород различного удельного сопротивления и картирования рельефа опорных геоэлектрических горизонтов (поверхности основания высокого удельного сопротивления или непосредственно перекрывающей его пород высокого удельного сопротивления и кровли пород низкого удельного сопротивления в осадочном чехле), положения геоэлектрических слоев в земной коре и в верхней мантии Земли. Данные МТЗ–МВЗ служат в качестве опорных наблюдений при исследованиях методами МТП, КМТП и ТТ.

8.6.4 Цифровой электроразведочный комплекс (полевая регистрация с аппаратурой типа ЦЭС-2 и -3, ЦЭС-М, ТТУ, МТУ-5 и последующая обработка магнитограмм на ПЭВМ) позволяет выполнять методом МТЗ–МВЗ как региональные, так и поисковые (детализационные) площадные работы масштабов 1:1500000 – 1:100000.

8.6.5 Полевые наблюдения по методике МТЗ–МВЗ выполняют с помощью цифровых электроразведочных станций ЦЭС-2, -3, ЦЭС-М, ТТУ (Phoenix Gophysies Ltd), МТУ-5 и др.

8.6.6 При проведении работ с цифровой аппаратурой руководствуются техническим описанием и инструкциями по эксплуатации цифровой электроразведочной станции, прилагаемыми к аппаратуре, ежемесячно проводить эталонировку градуировочных устройств, контроль идентичности измерительных каналов и строго соблюдать все требования инструкции по эксплуатации. Длительность регламентных записей и профилактики не превышает 3 приборо-смен в месяц.

8.6.7 При регистрации магнитотеллурических вариаций применяют прямоугольные приемные установки, состоящие из двух заземленных приемных линий E_x , E_y , двух магнитометров H_x , H_y и магнитометра H_z .

Приемные линии E_x и E_y выкладываются в виде буквы Г вдоль взаимно перпендикулярных осей x и y . Угол между осью x и широтным направлением не должен превышать 45° . В районах с устойчивой линейной поляризацией поля одну из осей ориентируют по направлению оси поляризации. Можно использовать Т-образную или крестообразную установки. Крестообразная установка имеет преимущества в сильно

залесенной, заболоченной местности из-за меньшей вероятности ошибок в длине и азимуте приемных линий. Точность раскладки проводов по заданному направлению $\pm 3^\circ$, что достигается размоткой их по заранее намеченным ориентирам. В густом кустарнике предварительно прорубают визирную линию. Длину приемных линий определяют по меткам на проводах (положение меток ежемесячно проверяют). В районах с интенсивными магнитотеллурическими вариациями, но со сравнительно однородными поверхностными геоэлектрическими условиями оптимальная длина линии установки не должна превышать 0,3–0,5 км. В районах с низким уровнем магнитотеллурического поля, с неоднородными поверхностными условиями, например с островной многолетней мерзлотой, длина приемной установки может достигать 0,8-1 км. Приемные линии заземляют чаще всего с помощью неполяризующихся электродов (летом) или металлических штыревых электродов зимой).

Магнитометры для регистрации вариаций H_x, H_y, H_z устанавливают в неглубоких ямах на устойчивых твердых основаниях, на расстоянии между ними не менее 3 м и ориентируют при помощи съемочной буссоли с повторяемостью (сходимостью) до $+0,5^\circ$. Азимут магнитометра для измерения H_x должен совпадать с азимутом оси x , азимут магнитометра для измерения H_y – с азимутом оси y . Полярность магнитометра определяют по указателям полярности: стрелка «у» магнитометра для измерения H_x должна быть направлена в сторону плюсового заземления линии E_y , а стрелка «х» магнитометра измерения H_y – в сторону плюсового заземления линии E_x . После установки магнитометров в необходимом азимуте буссоль снимают. Яма делается такой глубины, чтобы в ней можно было установить магнитометр и закрыть яму щитами и клеенкой, которые не должны касаться корпуса магнитометра. После окончания работ ямы засыпают ранее вырытой землей и закладывают ранее снятым дерном.

8.6.8 Средняя длительность одной записи при работах МТЗ составляет: в дневное время, когда регистрируются короткопериодные колебания с периодом до 60-100 с, – 2 ч; в ночное время, когда регистрируются длиннопериодные колебания с периодом более 100 с, – 6-8 ч. В зависимости от суммарной продольной проводимости изучаемого разреза общая длительность регистрации вариаций с использованием аналоговой аппаратуры колеблется от 1 до 6-7 сут.

Длительность регистрации с цифровой станцией в среднем не превышает 24 ч, а в сложных геологических условиях – 72 ч, без учета дней с отсутствием вариаций. В сложных геологических условиях (районы с большой мощностью осадочного чехла, горные районы со слабыми вариациями поля и др.) общая длительность регистрации вариаций может быть увеличена в 1,5 раза. В этом случае затраты времени обосновываются техническим проектом. В режиме низкочастотного МТЗ проводится 2-4, среднечастотного – 4, высокочастотного – 4 записи.

Запись характеристик магнитотеллурического поля на каждом пункте МТЗ должна содержать его вариации с периодами, равномерно заполняющими интервал от нескольких секунд до нескольких сотен или тысяч секунд в зависимости от удельной электропроводности изучаемого разреза. Для аналоговых станций каждому периоду должно соответствовать не менее 8-10 групп квазисинусоидальных импульсов, характеризующихся различной поляризацией поля. В районах с горизонтально-неоднородным разрезом наблюдения в полевых пунктах по методике МТЗ-МВЗ выполняются синхронно с наблюдениями в базисном (эталонном) пункте с целью изучения пространственного распределения составляющих поля, необходимого для качественной интерпретации результатов наблюдений и количественного снятия искажений кривых зондирования с помощью нормирования импеданса на внутреннее магнитное поле.

8.6.9 При выполнении МТП регистрируют вариации горизонтальных составляющих теллурического E и магнитного H полей с периодом от 10-15 до 60-80 с, относящиеся S_{umm} (главному или расширенному интервалу МТП) или h_{umm} .

Метод МТП применяют для изучения рельефа поверхности опорного геоэлектрического горизонта высокого удельного сопротивления (кристаллического фундамента или непосредственно перекрывающей его толщи высокого удельного сопротивления) или рельефа кровли отложений высокой удельной электропроводности в надпорной толще. Метод МТП применяется в сочетании с опорными МТЗ и методом ТТ. Наибольший экономический эффект метод МТП дает при региональных площадных исследованиях в масштабах 1:1000000 – 1:500000. При поисковых и детализационных работах методом в среднем масштабе метод МТП используют для получения опорных значений суммарной продольной проводимости разреза или глубины залегания кровли отложений высокой удельной электропроводности.

8.6.10 Для применения МТП благоприятными являются следующие условия:

- исследуемый геоэлектрический разрез сводится к разрезу типа Н;
- высокое удельное сопротивление ρ_n основания (опорного горизонта) не менее чем в 20-100 раз превышает среднее продольное удельное сопротивление ρ_l надпорной толщи; величина ρ_l либо не меняется по площади съемки, либо испытывает плавные изменения, для изучения которых достаточно небольшого объема сейсмических или электроразведочных опорных измерений;
- удельное сопротивление ρ_{n-1} горизонта, перекрывающего основание высокого сопротивления, по крайней мере в 10 раз меньше удельного сопротивления вышележащих отложений;
- в разрезе, особенно в его верхней части, отсутствуют резкие нарушения горизонтальной однородности напластований.

8.6.11 Опорные и параметрические МТЗ должны составлять не менее 3% от общего числа наблюдений МТП. При использовании расширенной формулы МТП или выполнении МТП в интервале h_{umm} опорные МТЗ должны составлять не менее 10% от общего числа наблюдений МТП. Опорные МТЗ равномерно распределяют по площади съемки. Параметрические МТЗ выполняют у глубоких скважин, а также на участках, изученных сейсморазведкой и электрическими зондированиями с искусственными источниками тока. При съемке в расширенном интервале МТП все минимумы и максимумы S необходимо подтверждать МТЗ. Если при этом записей МТП на пункте недостаточно для построения кривых МТЗ, необходимо проводить дополнительные записи вариаций.

8.6.12 Полевые наблюдения при производстве работ методом МТП ведутся в дневное время, когда наиболее часты вариации с периодами от 10-15 до 60-80 с.

Длительность записи на пункте МТП в зависимости от сложности магнитотеллурического поля составляет от 40 мин до 2 ч (помимо времени, необходимого для градуировки каналов). Запись считается достаточно полной, если она содержит 8-10 групп квазисинусоидальных импульсов E_x, E_y, H_x, H_y , характеризующихся различной поляризацией магнитотеллурического поля. В районах с устойчивой линейной поляризацией поля запись должна содержать 15-20 квазисинусоидальных импульсов, входящих в интервал МТП.

8.6.13 Метод ТТ основан на синхронной регистрации в полевых и базисных пунктах вариаций горизонтальных составляющих теллурического поля E . В методе ТТ регистрируются вариации поля с периодом от 10-15 до 60-80 с, относящиеся к интервалам S_{umm} (главный и расширенный) или h_{umm} (левая нисходящая ветвь).

8.6.14 Метод ТТ применяется для решения широкого круга геологических задач – от регионального изучения тектоники районов до поисков локальных объектов (структур, перспективных на нефть и газ, рудных узлов железорудных месторождений, зон повышенной минерализации, погребенных вод и т.д.). Применение метода ТТ целесообразно во всех случаях, когда упомянутые объекты поиска могут проявиться аномалиями по удельной электропроводности. Работы по методу ТТ проводятся в масштабах от региональных съемок до 1:100000 – 1:50000 и осуществляются обычно в

комплексе с опорными МТЗ, МТП и различными вариантами электрических зондирований. Для применения метода ТТ благоприятны те же условия, что и для метода МТП.

8.6.15 Наблюдения вариаций теллурических токов рекомендуется вести с помощью цифровой записи. Синхронизация записей полевых и базисных станций выполняется с помощью посылаемых по радио марок времени, либо по спутниковому времени.

8.6.16 Максимальное расстояние между полевой и базисной станциями в зависимости от района работ может достигать 50-100 км и более. Максимально допустимые расстояния выбираются в зависимости от надежности радиосвязи в районе работ при условии сохранения линейно-однородных соответствий, связывающих напряженности теллурических токов в полевом и базисном пунктах.

8.6.17 При наблюдениях вариаций теллурических токов используются прямоугольные установки. Если условия местности не позволяют этого, допускается уменьшение угла до 70° . В этом случае в результаты наблюдений вносятся поправки в соответствии с методическими рекомендациями. В зависимости от условий местности приемные установки могут быть Г-, Т- или крестообразными. Длина приемной установки может меняться в зависимости от условий работ и чувствительности применяемой аппаратуры и для большинства районов быть принята равной 150-200 м. Погрешности в определении длины приемной установки не должны превышать 0,5%. Погрешности в определении их азимута не выше $\pm 3^\circ$. Заземления с помощью неполяризующихся электродов (летом) или металлических пикетов (зимой) выбираются в местах с однородным грунтом вдали от обрывов, металлических конструкций и других объектов, могущих вызвать искажение поля теллурических токов.

8.6.18 Длительность наблюдения вариаций поля теллурических токов на каждой точке определяется их интенсивностью и особенностями поляризации поля. В общем случае запись должна содержать материал для построения 10-12 векторов вариаций, расположенных в различных квадрантах. При выполнении наблюдений в опорных пунктах запись должна содержать материал для построения 40 векторов вариаций. В случае устойчивой квазилинейной поляризации поля одна из приемных линий ориентируется по направлению оси поляризации поля. При этом на теллурограмме будет зарегистрировано видимое вращение векторов поля. Теллурограмма, записанная без вращения векторов поля и не обеспечивающая получения теллурического параметра H (отношение эффективных напряженностей электрического поля), является браком.

8.6.19 Распорядок рабочего дня партии (отряда), выполняющей работы методом ТТ, устанавливается в зависимости от суточного хода интенсивности и частотного спектра вариаций поля теллурических токов. Как правило, вариации с периодом от 10 до 150 с наиболее интенсивны и выдержаны во времени в утренние и дневные часы местного времени. Отклонения от этой закономерности выявляются в ходе полевых работ и являются основанием для корректировки распорядка рабочего дня партии.

8.6.20 При выполнении региональных исследований, охватывающих значительную территорию (превышающую 1000-1500 км²), положение базисной станции приходится несколько раз менять. При этом базисные станции помещают в точках опорной сети, которая создается путем выполнения наблюдений характеристик поля теллурических токов повышенной точности, что достигается посредством двукратных независимых наблюдений. Если число опорных точек превышает четыре, то опорная сеть должна составлять замкнутые полигоны для последующего уравнивания.

8.6.21 Проверка состояния аппаратуры и оборудования выполняется по той же программе, что и проверка электрических каналов аппаратуры в методах МТЗ, МТП в соответствии с техническими инструкциями применяемой аппаратуры.

8.6.22 В процессе полевых работ методом ТТ должны выполняться опорные и параметрические наблюдения МТЗ или МТП в объеме не менее 3 % от общего числа наблюдений ТТ. При выполнении работ методом ТТ в интервале h_{umm} наблюдения МТЗ-МТП должны составлять не менее 10% от общего числа наблюдений ТТ. Опорные пункты

МТЗ—МТП равномерно распределяются по площади съемки. Сгущение опорных зондирований необходимо на участках резкой смены геоэлектрического разреза, где может происходить переход регистрируемых в методе ТТ вариаций из одного частотного интервала кривой МТЗ в другой.

8.6.23 Метод МВП основан на синхронной регистрации в полевых и базисной точках компонент полного вектора магнитного поля. В методе МВП регистрируются вариации геомагнитного поля с периодами от 10-15 до 60-80 с, относящиеся к интервалам S_{umm} или h_{umm} . Для наблюдения вариаций используются станции типа ЦЭС-2, -3, ЦЭС-М, ТТУ (Phoenix Geophysics Ltd), MTU-5 и др.

8.6.24 Метод МВП применяется для изучения экранированных проводящих отложений как при региональных, так и при поисковых детализационных съемках.

8.6.25 Полевые работы методом МВП проводятся с соблюдением соответствующих требований к выполнению работ методами ТТ и МТП.

8.6.26 Метод КМТП основан на синхронной регистрации в полевых и базисной точках вариаций теллурического и магнитного полей. Благоприятными для применения КМТП являются условия, в которых вариации с периодом от 10-20 до 60-80 с входят в главный интервал МТП.

8.6.27 Метод КМТП применяется при среднемасштабных (1:100000 – 1:50000) поисковых и детализационных съемках в районах, геоэлектрический разрез которых содержит экраны высокого удельного сопротивления, для изучения экранированных отложений низкого удельного сопротивления.

8.6.28 Наблюдения вариаций магнитотеллурического поля при работах методом КМТП ведут с помощью цифровых станций типа ЦЭС-3, ЦЭС-М, MTU-5 и др. Базисные точки располагаются равномерно по площади съемки. Радиус действия каждой базисной точки может достигать 30-50 км и более. Каждую базисную точку связывают по крайней мере с несколькими десятками полевых точек. На отработку одной базисной точки уходит не менее 10-15 дней. За это время на базисной точке получают материал, достаточный для построения амплитудной кривой МТЗ и определения $S_{эф}^P$ - суммарной продольной проводимости и ρ_h подстилающего основания высокого удельного сопротивления. Измерения на базисных точках в методе КМТП служат опорными наблюдениями.

8.6.29 Контрольные наблюдения в магнитотеллурических методах должны составлять не менее 5 % от общего числа наблюдений. Среднеквадратическая повторяемость между значениями модулей эффективного импеданса $|Z_{эф}|$ контрольных и контролируемых наблюдений в методах МТЗ и МТП, а также между контрольными и контролируемыми значениями теллурического параметра H не должно превышать ± 5 .

8.6.30 Топографические работы при магнитотеллурических наблюдениях сводятся к определению планового положения и альтитуд точек наблюдения. Допустимые систематические погрешности определения планового положения точек наблюдения обуславливаются масштабом съемки (0,8 мм отчетной карты, но не более 200 м). Обычно точки опознаются по картам масштаба 1:50000 - 1:100000 и с использованием топопривязчиков GPS. Высоты точек снимаются с карт масштаба 1:50000 - 1:100000 (допустимая систематическая погрешность – 15 м).

8.6.31 Все данные, характеризующие полевые записи магнитотеллурического поля, заносят в электронные файлы либо в полевые журналы. Рекомендуемая форма журнала приведена в приложении С.

8.6.32 При обработке наблюдений магнитотеллурического поля вычисления производятся в следующих единицах: напряженность теллурического поля мВ/км, напряженность магнитного поля – γ (А/нТл), модуль импеданса – $|Z|$ мВ (км· γ) [мВ/(км·нТл)].

8.6.33 Обработка наблюдений МТЗ—МВЗ сводится к определению модулей и аргументов основных Z_{xy} , Z_{yx} и дополнительных Z_{xx} , Z_{yy} импедансов, магнитных параметров X_{zx} , X_{zy} , построению круговых диаграмм модуля основного $|Z_{xy}(\alpha)|$ и дополнительного $|Z_{xx}(\alpha)|$

импедансов и магнитного параметра $|X_{zx}(\alpha)|$. Значения модулей и аргументов основных импедансов используются для построения осредненных амплитудных и фазовых кривых $|Z|=f(\sqrt{T})$ и $\varphi_z=f(\sqrt{T})$. Осредненные кривые импедансов трансформируются в кривые кажущихся удельных сопротивлений и фазовые кривые по формулам: $|\rho_{xy}, \rho_{yx}| = 0,2T |Z_{xy}Z_{yx}|^2$; $\varphi_{\rho_{xy}}, \varphi_{\rho_{yx}} = 2\varphi_{Z_{xy}, Z_{yx}}$.

Амплитудные кривые кажущегося удельного сопротивления МТЗ и кривые МВЗ строят на логарифмических бланках, откладывая по оси абсцисс \sqrt{T} , а по оси ординат соответственно значения $|\rho_{xy}|$, $|\rho_{yx}|$ и $|X_{zx}|$, $|X_{zy}|$. Фазовые кривые строятся в логарифмическом масштабе по оси абсцисс и в арифметическом по оси ординат. По осям откладывают соответственно \sqrt{T} и $\varphi_{xy}, \varphi_{yx}$ (в арифметическом масштабе одному модулю бланка соответствует $57,3^\circ$).

Результаты обработки наблюдений КМТЗ должны содержать частотные характеристики теллурических ($\mu_{xx}, \mu_{yy}, \mu_{xy}, \mu_{yx}$) и магнитных ($\nu_{xx}, \nu_{yy}, \nu_{xy}, \nu_{yx}$) параметров в изучаемом частотном диапазоне. Графики параметров строятся в зависимости от величины \sqrt{T} на логарифмических бланках.

8.6.34 Обработка наблюдений МТП сводится к определению модуля импеданса $|Z|$ и вычислению суммарной продольной проводимости S отложений, перекрывающих опорный горизонт высокого удельного сопротивления, либо вычислению глубины залегания h кровли отложений низкого удельного сопротивления в надпорной толще. Для количественной интерпретации данных МТП в интервале S необходима дополнительная информация о среднем продольном удельном сопротивлении ρ_l надпорной толщи. Ее получают по результатам бурения, сейсморазведки (МОВ, КМПВ) и других методов электроразведки (ВЭЗ, ДЭЗ, ЗС, МТЗ).

8.6.35 Обработка наблюдений в методе ТТ сводится к определению средней относительной напряженности \bar{E}^p электрического поля в полевых точках наблюдений p по отношению к средней напряженности электрического поля \bar{E}^q в базисной точке q , принятой за единицу. Для определения средней напряженности используют способы сопряженных эллипсов, треугольников и наименьших квадратов. Значения средней напряженности поля связаны с суммарной продольной проводимостью S_T разреза или глубиной залегания кровли отложений низкого удельного сопротивления h .

8.6.36 Магнитограммы, полученные при МТЗ с помощью цифровых электроразведочных станций, обрабатываются на ПЭВМ по программам узкополосной математической фильтрации и многомерного корреляционного анализа. В программе обработки с помощью узкополосной фильтрации сложные вариации магнитотеллурического поля преобразуются в квазигармонические колебания. Это преобразование не искажает линейные соотношения между компонентами поля, и значения импедансов определяются по фильтрованным колебаниям. Для станций типа ЦЭС основная повторяемость (сходимость) определения импеданса обусловлена ошибками вычисления ступени автокомпенсации, осложненной переходным процессом.

Программа многомерного корреляционного анализа определяет тензор импеданса частот $1/(10 \Delta t) \div 1/(327 \Delta t)$ Гц, где Δt – шаг дискретизации, с. Шаг дискретизации может быть любым. Длина одного интервала непрерывной записи составляет 1024 ординат каждой компоненты магнитотеллурического поля. Магнитотеллурические вариации подвергаются предварительной широкополосной фильтрации. Рекомендуемая полоса пропускания фильтра $1/(10 \Delta t) \div 1/(220 \Delta t)$ Гц. Предварительная широкополосная фильтрация позволяет избавиться от промышленных помех высокой частоты и исключить периоды вариаций, анализ которых невозможен из-за ограниченности интервала регистрации.

Программа многомерного корреляционного анализа является более универсальной в сравнении с программой узкополосной фильтрации. Однако она предъявляет более жесткие требования к стационарности анализируемых процессов и требует достаточно полного их осреднения, т.е. более длительной полевой регистрации характеристик

магнитотеллурического поля.

8.6.37 Обработка цифровых материалов МТЗ—МВЗ производится по программам узкополосной математической фильтрации и многомерного корреляционного анализа.

8.6.38 По значениям модулей и фаз основных и дополнительных импедансов строят импедансные полярные диаграммы, по модулям и фазам магнитных параметров – магнитные полярные диаграммы. Наличие импедансных полярных диаграмм в широком частотном диапазоне позволяет оценить характер неоднородности исследуемого разреза, определить значения и направления главных импедансов и при необходимости перестроить кривые МТЗ по любому направлению.

8.6.39 Обработка теллурограмм в методе ТТ может выполняться различными способами, применение которых обуславливается характером теллурического поля, требованиями к конечным результатам работ и техническими возможностями (возможность использования ПЭВМ). В методе ТТ регистрирующие каналы именуется следующим образом: базисная теллуорограмма E_x – канал X , E_y – канал Y ; полевая теллуорограмма E_x – канал U , E_y – канал V .

8.6.40 Способ сопряженных эллипсов применяется при любом масштабе съемки для получения параметров K и M и определения коэффициентов линейного соответствия a , b , c , d как в точках рядовой сети, так и в точках опорной сети. Для построения сопряженных эллипсов необходимо набрать от 20 до 35-40 векторов вариаций теллурического поля, равномерно заполняющих квадранты координатной системы. При обработке теллуорограмм пунктов опорной сети число векторов вариаций должно быть увеличено до 30-50. Длины векторов вариаций должны быть не менее 15 мм. Расчеты, связанные с построением сопряженных эллипсов, фиксируются на планшете миллиметровки и в журнале. Сопряженные эллипсы считаются достоверными, если не менее 80% преобразованных векторов вариаций располагаются своими концами на расстояниях, не превышающих 10% длины центрального радиуса эллипса, совпадающего по направлению с вектором вариаций.

Значение параметра K определяется как среднее из значений K_p^q , вычисляемых по формуле

$$K_p^q = P_{UX} \sqrt{ab/R} , \quad (28)$$

где p, q - номера базисной и полевой точек;

P_{UX} - множитель, равный отношению постоянных P_U/P_X регистрирующих каналов;

a, b - полуоси полевого эллипса; мм;

R - масштабный коэффициент, имеющий размерность длины и выбираемый с таким расчетом, чтобы полуоси эллипса имели длину от 20 до 60 мм.

Значение параметра M вычисляется по формуле

$$M = b/a \quad (29)$$

8.6.41 Способ треугольников для обработки теллуорограмм применяется в тех же условиях, что и способ сопряженных эллипсов, а также тогда, когда последний в силу различных причин не дает устойчивых результатов (такой причиной, в частности, может быть перпендикулярность осей поляризации поля на базисной и полевой точках). Способ треугольников дает только значения параметра K . Диаграмма векторов вариаций при обработке теллуорограмм способом треугольников должна содержать не менее 20 векторов длиной более 15 мм каждый. Приращения ΔX , ΔJ , ΔU , измеренные в миллиметрах, заносятся в журнал векторов вариаций. Угол между векторами вариаций, образующими треугольники, должен быть заключен в пределах от 45 до 135°. Каждый вектор вариаций может быть использован не более чем в двух парах. При вычислении отношений площадей треугольников последние объединяются в две группы, содержащие каждая по 10 пар треугольников. Для каждой группы вычисляется средняя квадратичная повторяемость (сходимость) δ . Расхождение между средними отношениями площадей

групп не должно превышать 15 %. Параметр K вычисляется по формуле

$$K_p^q = \sqrt{\frac{P_U P_V \sin \alpha_p}{P_X P_Y \sin \alpha_q}} \cdot s \pm \delta, \quad (30)$$

где P_U, P_V, P_X, P_Y – соответствующие постоянные регистрирующих каналов;
 $s = (s_1 n_1 + s_2 n_2) / (n_1 + n_2)$;
 s_1, s_2 – средние значения отношений площадей в первой и второй группах;
 n_1, n_2 – число треугольников в первой и второй группах;
 α_p, α_q – углы между приемными установками на базисной и полевой точках;

$$\delta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{P_U P_V \sin \alpha_p}{P_X P_Y \sin \alpha_q} \cdot \frac{1}{s} \cdot \frac{\delta_1^2 n_1 \delta_2^2 n_2}{(n_1 + n_2)(n_1 + n_2 - 2)}}, \quad (31)$$

где δ – средняя квадратичная повторяемость (сходимость) параметра K_p^q ;
 δ_1, δ_2 – средние квадратичные погрешности измерений в расчетных группах.

Все расчеты, связанные с определением параметра K_p^q по способу треугольников, фиксируются на планшетах построения диаграмм векторов поляризации.

8.6.42 Наиболее универсальным способом обработки теллуорограмм является способ наименьших квадратов. Его применяют в общем случае горизонтально-неоднородных разрезов, когда коэффициенты линейного соответствия являются комплексными величинами, по такой же схеме – в методах МТЗ–МТП. При этом производится следующая замена в расчетных формулах:

$$E_x \rightarrow U; \quad E_y \rightarrow V; \quad H_x \rightarrow Y; \quad H_y \rightarrow X; \quad Z_{xy} \rightarrow a; \quad Z_{xx} \rightarrow b; \quad Z_{yx} \rightarrow d; \quad Z_{yy} \rightarrow c.$$

При изучении разрезов с плавными изменениями параметров, когда коэффициенты линейного соответствия a, b, c, d являются действительными числами, формулы вычислений методом наименьших квадратов упрощаются:

$$a = \frac{\sum Y^2 \sum XY - \sum YU \sum YX}{\sum X^2 \sum Y^2 - (\sum XY)^2} \quad (32)$$

$$b = \frac{\sum X^2 \sum YU - \sum XU \sum XY}{\sum X^2 \sum Y^2 - (\sum XY)^2} \quad (33)$$

$$c = \frac{\sum Y^2 \sum XY - \sum YV \sum XY}{\sum X^2 \sum Y^2 - (\sum XY)^2} \quad (34)$$

$$d = \frac{\sum X^2 \sum YV - \sum XV \sum XY}{\sum X^2 \sum Y^2 - (\sum XY)^2} \quad (35)$$

8.6.43 При многократных измерениях на опорных пунктах окончательные значения параметра K_p^q определяются путем усреднения их значений. При этом отдельные значения не должны отличаться от среднего более чем на 5 %.

8.6.44 Первичная обработка теллуорограмм обычно выполняется в полевых условиях и ограничивается определением значения параметра K_p^q . Обработка в камеральный период заключается в повторном построении сопряженных эллипсов и определении параметров K_p^q, M , коэффициентов линейного соответствия a, b, c, d . Опорные наблюдения обрабатываются полностью с применением нескольких способов обработки.

В результате камеральной обработки составляются карты средней напряженности поля теллурических токов (или карта параметра K), минимальной (E_{min}) и максимальной (E_{max}) напряженности поля, карта коэффициентов поляризации M и осей эллипсов поляризации поля теллурических токов (ТТ). Среднестатистический базисный эллипс строится с использованием векторных диаграмм на планшетах обработки всех точек ТТ способом сопряженных эллипсов в соответствии с методическими рекомендациями.

8.6.45 Интерпретация материалов магнитотеллурических наблюдений включает три этапа:

1) распознавание искажений, обусловленных влиянием горизонтальной неоднородности и разреза;

2) снятие искажений путем нормирования импеданса на внутреннее магнитное поле, определяемое по результатам синхронной регистрации составляющих магнитотеллурического поля;

3) интерпретация данных, полученных в нормировании на внутреннее магнитное поле, либо наименее искаженных данных, полученных в нормировании на полное магнитное поле, на основе предположения о горизонтально-однородных моделях среды.

В основе интерпретации результатов магнитотеллурических наблюдений лежит истолкование данных МТЗ.

8.6.46 Под искажением кривой МТЗ понимается отличие кривой, полученной в условиях реального горизонтально-неоднородного разреза, от кривой МТЗ, рассчитанной для горизонтально-однородного разреза с параметрами, соответствующими точке наблюдения.

Искажения кривых МТЗ по своей природе делятся на два типа:

1) обусловленные действием аномального электрического поля зарядов, возникающих на неоднородностях геоэлектрического разреза (гальванические эффекты);

2) обусловленные аномальным полем избыточных токов, возникающих при неоднородности разреза (индукционный эффект).

В районах с линейной тектоникой тип искажения зависит от направления тока. Гальванические эффекты проявляются в основном на поперечных кривых кажущегося удельного сопротивления ρ_T^\perp , полученных, когда ток течет вкрест простирания структур. Для кривых ρ_T^\perp , характерны: эффект $S_{см.в}$ (смещение правых ветвей МТЗ по оси удельного сопротивления), эффект экранирования (сглаживание структур, перекрытых горизонтом высокого удельного сопротивления), краевой эффект (возникновение минимумов и перегибов на кривых МТЗ из-за канализации тока вдоль вытянутой впадины).

Индукционный эффект искажает в основном продольные кривые кажущегося удельного сопротивления ρ_T^H , полученные при токе, текущем в направлении простирания структуры. Для таких кривых характерно возникновение ложных минимумов и перегибов, смещение восходящих ветвей.

В районах с изометрическими структурами кривые МТЗ независимо от направления тока искажаются совокупностью гальванических и индукционных эффектов, обусловленных концентрацией тока во впадинах и обтеканием поднятий.

8.6.47 Искажения кривых МТЗ распознаются по ряду признаков и оцениваются по приближенным формулам в соответствии с [16], [17].

По завершении анализа искажений кривых МТЗ наименее искаженные кривые или их участки интерпретируются на основе горизонтально-однородных моделей. В районах с линейной тектоникой, когда осадочная толща не содержит промежуточных горизонтов высокого удельного сопротивления, наиболее полную и точную информацию о геоэлектрическом разрезе дают поперечные кривые МТЗ при отсутствии краевого эффекта. Если осадочная толща содержит промежуточный экранирующий пласт высокого удельного сопротивления, то поперечные кривые используются лишь для изучения отложений, перекрывающих этот пласт. О подэкранных отложениях наиболее достоверную информацию дают продольные кривые МТЗ.

В районах с изометричными структурами, где кривые МТЗ искажены суммарным действием гальванических и индукционных эффектов, целесообразно интерпретировать средние кривые МТЗ.

8.6.48 На основе нормирования импеданса на внутреннее магнитное поле можно в значительной мере ослабить искажения кривых МТЗ, обусловленные действием эффектов краевого, индукционного, обтекания и концентрации токов, в условиях даже резко выраженной горизонтальной неоднородности разреза.

Внутреннее магнитное поле в соответствии с методическими рекомендациями определяется по результатам синхронных наблюдений составляющих магнитотеллурического поля либо (с меньшей надежностью) по одиночным зондированиям.

В зоне S внутренние магнитные поля и электрические поля связаны между собой условиями

$$Z_{xy}^i = \frac{E_x}{H_y^i} = \frac{2}{S(xy)} \quad (36)$$

$$Z_{yx}^i = \frac{E_y}{H_x^i} = -\frac{2}{S(xy)} \quad (37)$$

где Z_{xy}^i, Z_{yx}^i – импедансы в нормировании на внутреннее магнитное поле;
 $S(x, y)$ – текущая суммарная продольная проводимость в точке наблюдения;
 E_x, E_y – полные электрические поля;
 H_x^i, H_y^i – внутренние магнитные поля.

По значениям Z_{xy}^i, Z_{yx}^i строятся кривые ρ_T^i в нормировании на внутреннее магнитное поле

$$\rho_{xy}^i = \frac{0,2T}{4} |Z_{xy}^i|^2 \quad (38)$$

$$\rho_{yx}^i = \frac{0,2T}{4} |Z_{yx}^i|^2 \quad (39)$$

8.6.49 Количественная интерпретация результатов магнитотеллурических методов исследований сводится к построению обобщенной и послойной модели вертикального геоэлектрического разреза. При интерпретации кривых МТЗ определяют суммарную продольную проводимость S отложений, перекрывающих опорный горизонт высокого удельного сопротивления, мощность d отложений, перекрывающих опорный горизонт низкого удельного сопротивления, удельное сопротивление опорного горизонта ρ_n .

Если на кривых МТЗ имеются четкие восходящие и нисходящие ветви с углами наклона $\pm 63^\circ 25'$, минимумы и максимумы, то S и d вычисляют по формулам МТЗ. Если наклоны восходящих и нисходящих ветвей кривой МТЗ меньше $\pm 63^\circ$, значения S, d, ρ_n определяют по палеткам.

Среднее продольное сопротивление ρ_l надпорных отложений в разрезах, сводящихся к типу H , можно рассчитать по ординате минимума кривой ρ_T :

$$\rho_l = P\rho_{T_{min}} \quad (40)$$

где P - коэффициент, зависящий от соотношений параметров разреза.

Используются также приемы количественной интерпретации кривых МТЗ, основанные на изучении эффективной глубины h_T проникновения электромагнитной волны и кажущейся проводимости S_T :

$$h_T = \frac{\sqrt{10\rho_T T}}{8,9}; \quad (41)$$

$$S_T = \frac{796}{|Z_T|} \quad (42)$$

где ρ_T и $|Z_T|$ – кажущееся удельное сопротивление и модуль входного импеданса, соответствующие периоду T .

8.6.50 Главный и расширенный интервалы МТП приурочены к восходящей ветви кривых МТЗ, обусловленной подстилающим основанием высокого удельного сопротивления. В пределах главного интервала МТП значение суммарной продольной проводимости S с повторяемостью (сходимостью) 10 % определяют по главной формуле МТП:

$$S = 796 \cdot \left\{ \frac{1}{|Z_T|} - \sqrt{\frac{T}{10\rho_n}} \right\}. \quad (43)$$

где S – суммарная продольная проводимость, См.

Главный интервал МТП является частью расширенного интервала МТП. В пределах расширенного интервала МТП значение S с повторяемостью (сходимостью) до 10% определяют расширенной формуле МТП:

$$S = 796 \cdot \left\{ \frac{1 + 0.45T_{min}/T}{|Z_T|} - \sqrt{\frac{T}{10\rho_n}} \right\} \quad (44)$$

где T_{min} – период вариаций, соответствующий минимуму кривой МТЗ.

Для предварительной (приближенной) оценки границ главного и расширенного интервала МТП используются неравенства:

$$\frac{d^2}{\rho_i^2} \rho_n > T > \begin{cases} 10d^2/\rho_i & (\text{главный интервал МТП}); \\ 2,8d^2/\rho_i & (\text{расширенный интервал МТП}), \end{cases} \quad (45)$$

где d , ρ_i – мощность и среднее продольное сопротивление надпорной толщи. Более точная оценка границ главного и расширенного интервалов МТП осуществляется по формулам для трехслойного разреза либо путем расчета кривых МТЗ в соответствии с методическими рекомендациями [16.17]. В ходе полевых работ эти границы проверяются по опорным кривым МТЗ. Значения T_{min} , ρ_n , входящие в главную и расширенную формулы МТП, определяют по опорным кривым МТЗ.

8.6.51 Интервал h_{umm} приурочен к нисходящей ветви кривых МТЗ, обусловленной горизонтом низкого удельного сопротивления. В пределах интервала определяется глубина h_1 (м) залегания кровли горизонта низкого удельного сопротивления:

$$h_1 = 0.159 \cdot \frac{|Z_{T_1}| \sqrt{T_1} - |Z_{T_2}| \sqrt{T_2}}{\sqrt{T_2} - \sqrt{T_1}} \sqrt{T_1 T_2}, \quad (46)$$

где $|Z_{T_1}|$, $|Z_{T_2}|$ – модули импеданса, соответствующие периодам вариаций T_1 , T_2 .

Систематическая погрешность определения h_1 находится в прямой зависимости от угла наклона нисходящей ветви кривой МТЗ.

Частотные границы интервала h_{umm} для разрезов, сводящихся к трехслойному разрезу типа H , приближенно определяются неравенствами:

$$2.8d_1^2/\rho_1 < T < \begin{cases} 2.8(d_1 + d_2)/\rho_2 & (\text{разрезы с } d_2/d_1 < 1); \\ 7.9d_1d_2/\rho_2 & (\text{разрезы с } d_2/d_1 > 1). \end{cases} \quad (47)$$

Более точное определение границ интервала $h_{\text{умм}}$ осуществляется путем расчета кривых МТЗ.

По данным МТП в интервале $h_{\text{умм}}$ строят схему изоглубин кровли проводящего горизонта. При этом не менее 10 % значений глубин по данным МТП должно подтверждаться результатами МТЗ.

8.6.52 По данным МТП в интервале $S_{\text{умм}}$ в качестве отчетных карт и профилей строят карту и профили суммарной продольной проводимости S разреза. Сечение изолиний на карте S составляет не менее 15 % значений S , встречаемых на участке. Если в пределах площади съемки применяют как главную, так и расширенную формулу МТП, то в зонах перекрытия изолинии и графики S должны иметь разные обозначения. Измерения суммарной продольной проводимости, происходящие в местах перекрытия этих областей, считаются достоверными, если они отмечаются изолиниями и графиками, построенными как по главной, так и по расширенной формулам МТП. По данным МТП в интервале $h_{\text{умм}}$ строят схему изоглубин кровли проводящего горизонта. При этом не менее 10 % значений глубин по данным МТП должно подтверждаться результатами МТЗ.

8.6.53 Карты и профили S , полученные по данным МТЗ, МТП, КМТП, преобразуют в структурные карты и геоэлектрические разрезы поверхности опорного горизонта по формуле

$$H = \rho_l S - A \quad (48)$$

где H – глубина опорного горизонта (от уровня моря), м;

A – альтитуда (высота) точки записи, м;

ρ_l – среднее продольное удельное сопротивление надопорной толщи; Ом/м.

Для определения ρ_l используют данные опорных МТЗ, бурения, сейсморазведки и электрических зондирований с искусственными источниками тока. По графикам зависимости ρ_l и S производят интерполяцию значений ρ_l .

8.6.54 В результате работ КМТП составляют карты $S_{\text{эф}}$, $E_{\text{эф}}$, $H_{\text{эф}}$ карты параметров S_{xy} , S_{yx} , μ_{xx} , μ_{yy} , ν_{xx} , ν_{yy} . На картах значения $E_{\text{эф}}$, $H_{\text{эф}}$ в базисной точке принимают равными 100 условным единицам, тогда значения $E_{\text{эф}}$, $H_{\text{эф}}$ в полевых точках находят по формулам $K_{\text{эф}} = 100K$, $H_{\text{эф}} = 100N$. В районах со сложной тектоникой рассматриваются карты $S_{\text{эф}}$, $E_{\text{эф}}$, $H_{\text{эф}}$ в районах с линейной тектоникой – карты ρ_{xy} , ρ_{yx} , μ_{xx} , μ_{yy} , ν_{xx} , ν_{yy} . Для геоэлектрического разреза, не содержащего промежуточного горизонта высокого удельного сопротивления, основными являются карты S , а карты E и H играют второстепенную роль, так как качественно повторяют карты S . Если осадочная толща содержит промежуточный горизонт высокого удельного сопротивления, то карты $H_{\text{эф}}$ и ν_{xx} , ν_{yy} играют существенную роль при изучении экранированных отложений.

8.6.55 Геологическая интерпретация карт, построенных по результатам наблюдений поля теллурических токов, сводится к качественному выявлению основных тектонических элементов исследуемого района. При выполнении съемки в интервале $S_{\text{умм}}$ максимуму проводимости разреза отвечают минимумы напряженности поля ТТ, а минимумам проводимости – максимумы напряженности. При работах в интервале $h_{\text{умм}}$ прогибы в кровле проводящих отложений отмечаются максимумами напряженности поля ТТ, а поднятия – минимумами. Поэтому чрезвычайно важно по опорным МТЗ устанавливать зоны, где короткопериодные колебания поля ТТ переходят из одного интервала в другой.

При комплексировании работ методом ТТ с опорными электрическими зондированиями и МТП во многих случаях становится возможной и количественная интерпретация результатов наблюдений поля ТТ. Для этого эмпирически изучаются зависимости $K(S)$, $K(d)$, $K(H)$. Для этих же целей используются данные бурения и сейсмических работ.

8.6.56 Комиссия, принимающая полевые материалы партии, выполнявшей

магнитотеллурические исследования, проверяет соблюдение требований настоящей инструкции и оценивает качество работ. Комиссии должны быть предъявлены следующие материалы:

- проект работ;
- полевые материалы;
- электронные файлы;
- материалы предварительной интерпретации данных МТЗ–МТП–ТТ;
- карту расположения базисных и полевых точек наблюдений.

При оценке качества выполненных работ комиссией должны приниматься во внимание качество записей, полнота и правильность их обработки, а также состояние документации, качество работы аппаратуры, степень решения поставленной геологической задачи.

8.6.57 Отчет о работах партии должен дополнительно содержать:

- характеристику магнитотеллурического поля – частотный спектр, суточный ход, форму импульсов, поляризацию, среднюю амплитуду вариаций;
- аналитическое и практическое определение частотных интервалов $S_{\text{штт}}$ (главного и расширенного) и дополнительного $h_{\text{штт}}$;
- обоснование применимости различных способов обработки;
- анализ искажений кривых МТЗ в условиях изучаемого разреза.

8.6.58 В сложных случаях возможен учет влияния источника (особенно когда наблюдается значительный разброс измеряемых значений напряженности поля). Один из способов учета влияния источника допускает наблюдения другой станцией, расположенной в опорном пункте с известным геоэлектрическим разрезом. При этом для построения кривой зондирования по результатам наблюдений на передвижной станции рекомендуется выбирать длительность записи наблюдений по данным опорной станции. Окончательная отбраковка сигналов, не удовлетворяющих модели плоской волны и приводящих к разбросу значений импедансов, должна проводиться на этапе обработки материалов на ПЭВМ с помощью специальных алгоритмов.

8.7 Метод зондирования становлением электромагнитного поля

8.7.1 Метод зондирования становлением электромагнитного поля (ЗС) основан на изучении переходных процессов, возникающих в земле при ступенеобразном изменении амплитуды тока в заземленной линии AB или в незаземленном контуре Q . Характер и длительность регистрируемых переходных процессов зависят от особенностей геоэлектрического разреза, типа установки ЗС, расстояния между источником поля и пунктом измерения. Длительность переходного процесса выбирается такой, чтобы на ранних временах по электромагнитному полю определялись параметры верхней части разреза, в поздней стадии становления – суммарные параметры среды.

8.7.2 Метод ЗС используется главным образом для изучения осадочных отложений по удельному электрическому сопротивлению при глубинных исследованиях, причем его основные преимущества по сравнению с другими методами электромагнитных зондирований реализуются в районах с относительно невысоким уровнем электромагнитных помех промышленного происхождения и при относительно слаборасчлененном рельефе дневной поверхности.

Метод ЗС применяется для расчленения осадочного чехла по удельному электрическому сопротивлению слагающих его относительно однородных толщ, прослеживания структурно-тектонических изменений осадочной толщи, выявления и картирования зон локальных неоднородностей в осадочной толще, изучения рельефа опорного горизонта высокого удельного сопротивления (фундамента). Метод ЗС комплексирован с сейсморазведкой, а также с другими методами электроразведки (ВЭЗ, МТЗ и др.), от которых отличается более узкой областью действия принципа эквивалентности.

8.7.3 В качестве приемников поля используется заземленная линия MN или незаземленный горизонтальный контур-петля g . В зависимости от типов источника и входного преобразователя (датчика) поля различают следующие основные виды установок ЗС: $AB-MN$, $AB-q$, Qq (соосная), $Q-q$ (разнесенная).

Работы методом ЗС с использованием в качестве источника поля заземленной линии AB выполняются, как правило, по схеме профилирования с выбранным расстоянием L (разносом) между источником и приемником.

Выбор значения L , при выполнении зондирования с установкой $AB-MN$ осуществляется таким образом, чтобы при данном разноте значении ρ_k кривой дипольного зондирования на постоянном токе находилось на асимптотической восходящей ветви, отражающей опорный горизонт высокого удельного сопротивления. Используются как экваториальные, так и осевые установки $AB-MN$. При использовании установки $AB-MN$ измерения выполняются по системе взаимно-встречных экваториальных установок с закрепленным разносом L . Выбор значения L определяется условиями измерения необходимого для решения геологической задачи интервала времени t процесса становления поля.

С увеличением L сигнал на ранних временах уменьшается, а на больших – увеличивается, т. е. с увеличением L , уменьшаются динамический диапазон сигнала и градиент его изменения в заданном интервале времени. При измерениях в дальней зоне источника установки $AB-q$ (ЗСД) значение L должно превосходить глубину залегания прослеживаемого геоэлектрического слоя в три – четыре раза, а при измерениях в ближней зоне (ЗСБ) значение L должно быть меньше удвоенной глубины залегания прослеживаемого слоя. Оптимальным для выполнения высокоточных измерений процесса становления поля является разнос L , в 1,5-2,0 раза превышающий глубину исследования.

При использовании в качестве источника поля незаземленного замкнутого контура Q , как правило, применяется соосная установка Qq . Установки Qq располагаются по площади применительно к условиям местности.

Вынесение приемной петли g за пределы питающего контура Q (разнесенная установка $Q-q$) обычно обусловлено необходимостью защиты измерительного канала от перегрузки в момент посылки токового импульса в питающую петлю. Работы с этой установкой следует вести также в модификации профилирования с фиксированным (закрепленным) разносом L .

8.7.4 Наибольшее распространение при работах методом ЗС получили установки $AB-q$ и Qq .

При проведении работы с установкой $AB-q$ разнос выбирается исходя из геологической задачи в соответствующем интервале времени. Будучи несимметричной, установка $AB-q$ обладает повышенной чувствительностью к нарушениям горизонтальной неоднородности геоэлектрического разреза и при выполнении работ по системе взаимно-встречных наблюдений позволяет получать дополнительную информацию о неоднородности разреза в направлении оси зондирования. Установку $AB-q$ рекомендуется применять при выполнении работ методом ЗС в условиях электропроводных разрезов с суммарной продольной проводимостью, превышающей несколько сотен сименс, и при глубинах исследования до 3-4 км.

Соосная установка Qq , которая может рассматриваться как симметричная, в условиях горизонтально-неоднородной среды позволяет получать осредненные в центре установки результаты. Оптимальными условиями для применения установки Qq являются разрезы с суммарной продольной проводимостью до нескольких сотен сименс при глубинах исследования до 1-2 км. Измеренный сигнал становления поля при использовании установки Qq имеет большой динамический диапазон. Преимуществом установки Qq является отсутствие заземлений, поэтому ее можно использовать в пустынях и зимой, когда устройство заземлений затруднительно. Следует иметь в виду также, что при

индукционном возбуждении поля поверхностные неоднородности разреза вблизи питающего диполя в меньшей степени исказят результаты измерений, чем при гальваническом возбуждении.

8.7.5 При работах методом ЗС следует стремиться к постоянству геометрических параметров установок в пределах площади исследований. Это особенно важно при использовании установки $AB-q$.

8.7.6 При работах методом ЗС наиболее распространенными масштабами являются 1:200000 - 1:50000. Шаг установки по профилю должен обеспечить надежное выделение аномалии не менее чем тремя точками при густоте расположения точек на отчетных графиках с интервалом 1-1,5 см. Расстояние между профилями обычно в два раза превышает расстояние между точками наблюдений по профилю.

Направления профилей задаются вкрест предполагаемого простираения опорного горизонта.

8.7.7 Полевые измерения по методу ЗС выполняются с универсальной электроразведочной лабораторией типа ЭРСУ-71, цифровой электроразведочной станцией типа ЦЭС или аппаратурой типа «Цикл».

Для создания в питающей установке заземленной линии или петле ступенеобразного импульса используются генераторные установки постоянного тока с тиристорными коммутаторами типа ЭРСУ-71, СВП-74 или аналогичные.

8.7.8 В первом приближении измеренный сигнал становления поля может быть аппроксимирован функцией вида $\Delta U(t) \sim Ae^{-\alpha t} + const$. Коэффициент затухания сигнала α тем больше, чем больше удельное электрическое сопротивление разреза и чем меньше расстояние между источником поля и точкой наблюдения. Чем больше коэффициент затухания α , тем больше динамический диапазон измеряемого сигнала в заданном временном интервале и тем более широкополосным должен быть измерительный канал для получения неискаженных результатов измерения.

Для оценки аппаратурных искажений сигнала в полевых условиях при выборе режима фильтрации следует измерить переходную характеристику $F(t)$ измерительного канала и, аппроксимировав ее выражением вида $F(t) = U_0(1 - e^{-\beta t})$, определить значение β . При коэффициенте затухания сигнала α меньшем, чем β , на временах t , превышающих длину переходной характеристики, сигнал на выходе измерительного канала можно записать в виде

$$y(t) = x(t)\beta/(\beta - \alpha), \quad (49)$$

где $\beta/(\beta - \alpha)$ - искажение сигнала переходными процессами;

$y(t)$ - результат измерения сигнала $x(t)$.

8.7.9 При измерении сигнала становления поля, меняющегося в широком динамическом диапазоне, регистрация его осуществляется поинтервально. Для измерения ранних времен процесса становления регистрация ведется при пониженной чувствительности и широкой полосе пропускания измерительного канала. В целях повышения точности регистрации сигнала на более поздних временах выполняются повторные записи с измененным режимом аппаратуры (чувствительность канала повышается, включаются фильтры). Для избежания возникновения собственных процессов в измерительном канале за счет его перегрузки он блокируется на ранних временах процесса становления.

Выбор режима поинтервальной записи – шага изменения чувствительности регистрирующего прибора, его фильтрации и временного интервала перекрытия отдельных записей – определяется системой обработки. Выбранный режим записи процесса становления поля необходимо выдерживать постоянным в пределах площади исследований.

8.7.10 Питающая линия AB и питающая петля Q выкладываются из провода низкого сопротивления типа ГПМП с надежным изоляционным покрытием. Заземления

выполняются железными пикетами или штангами. В случае необходимости, например в районах развития песчаных отложений, бурятся скважины до обводненного или глинистого слоя. Длина питающей установки AB выбирается в пределах 500-2000 м в соответствии с требованием $I_{AB} \leq L/3$. Питающая петля Q обычно выкладывается в форме квадрата со стороной 500-2000 м. Амплитуда ступени тока питающей установки составляет примерно 10-100 А. В целях улучшения качества принимаются меры по увеличению момента питающей установки (произведение длины линии AB или эффективной площади петли на силу тока в них). Для увеличения силы тока в приемной линии AB или в петле Q применяют группирование генераторных установок. требованиями.

В случае использования установок $AB-q$ и $Q-q$ с близким расположением приемной петли к питающим проводам (менее 1-2 км) генераторная группа эксплуатируется в режиме « AB —балласт» с использованием нуль-контактора и регистрацию процесса становления поля проводят, когда цепь питающей линии разорвана, а ток поступает в балласт. При больших удалениях петли q от питающих проводов генераторная установка может эксплуатироваться в режиме «инвертирования тока».

8.7.11 В качестве преобразователей электромагнитного поля в электрический сигнал в методе ЗС используются заземленная линия MN длиной 100-300 м и незаземленная петля q с эффективной площадью 0,3-1,0 км². Для заземления линии MN используются неполяризующиеся электроды, обычно изготовленные из сухих элементов анодной батареи типа 29-ГРМЦ-13, с которых снимаются цинковые оболочки. Из группы электродов подбираются пары с минимальной разностью потенциалов поляризации. Соединительные провода должны иметь сопротивление изоляции не ниже 0,5 МОм и в процессе измерений не качаться под действием ветра.

Незаземленный контур – петля q изготавливается из 20-50-жильного кабеля. Петля выкладывается на земле обычно в форме квадрата со стороной 50-200 м или круга с радиусом 25-100 м. Сопротивление изоляции отдельных жил друг от друга и от земли должно быть не менее 0,5 МОм. Штыревые разъемы, с помощью которых концы многожильного кабеля соединяются для образования многовиткового контура, должны оберегаться от сырости и грязи. Для подавления ветровых помех кабель, из которого изготовлены петли q , на время измерения присыпается землей.

Места расположения измерительных установок выбираются вдали от промышленных объектов и электрических сетей. Время суток, когда проводятся измерения, выбирается с учетом суточной периодичности в интенсивности помех, как магнитотеллурических, так и промышленных.

8.7.12 С целью накопления импульсов для проведения статистической обработки регистрируется от 10 до 100-200 и более сигналов становления поля. Интервал времени между следующими друг за другом посылками ступенеобразных импульсов тока должен быть в два-три раза больше визуальной отмечаемой длительности $t_{в.д}$ процесса становления. При этом глубинность исследования h , м, может быть оценена по формуле (50).

8.7.13 Перед началом полевых работ и в период их проведения не реже одного раза в месяц должны быть проверены следующие характеристики аппаратуры

- а) линейная шкала измерительного канала (выдерживается с точностью 1-2%);
- б) стабильность градуировочных сигналов (выдерживается с систематической повторяемостью (сходимость)ю 1-2%);
- в) стабильность цены марок времени (выдерживается с систематической повторяемостью (сходимость)ю 1%);
- г) вид переходной характеристики измерительного канала вместе с переходным преобразователем - датчиком (выдерживается систематической повторяемостью (сходимость)ю 5%);
- д) стабильность шкалы измерительного тока в питающей линии (выдерживается

систематической повторяемость (сходимость)ю 5%).

е) вид фронта токового импульса в питающей линии;

ж) состояние питающих и измерительных линий (петель), неполяризующихся электродов.

Характеристики аппаратуры должны соответствовать указанным и паспортным параметрам.

Для оценки собственных шумов и дрейфа нуля измерительного канала, включающего приемную установку MN или приемную петлю q , проводят запись при сближенных электродах MN или с кабелем приемной петли q , разложенным бифилярно.

8.7.14 Для контроля повторяемости (сходимости) произведенных наблюдений проводятся контрольные измерения в объеме не менее 5 % от общего объема работ. Контрольные измерения выполняются с обязательной повторной раскладкой измерительных и питающих линий, с разрывом по времени после контролируемого измерения не менее 1-2 дней.

При измерении процесса становления вертикальной компоненты магнитного поля с помощью незаземленного контура q угол между плоскостью петли и горизонтальной плоскостью не должен превышать 1° , а разность высот питающих и приемных линий должна быть менее 0,01 разности L .

8.7.15 Для оценки повторяемости (сходимости) измерений используют относительное расхождение контрольного и контролируемого сигнала, нормированных по чувствительности и силе тока. Допустимые расхождения в зависимости от стоящих задач могут задаваться в пределах от 1 до 5 %, что должно быть оговорено в проекте полевых работ.

Указанная повторяемость (сходимость) измерений не должна превышать погрешности определения топографического коэффициента.

8.7.16 Основными первичными документами являются электронные файлы с записями становления поля (полевые журналы), материалы аппаратурных контрольно-проверочных работ, журнал эталонировки, журналы топоработ, схемы расположения установок на участке работ, данные обработки контрольных и контролируемых наблюдений.

8.7.17 При расчетах экспериментальных кривых ЗС параметры установок и геоэлектрического разреза выражаются в следующих единицах: длина – м, удельное электрическое сопротивление – Ом·м, время – с, сила тока – А, измеряемая разность потенциалов – мкВ, проводимость – См.

Обработка результатов измерений процессов становления поля заключается в определении зависимости измеряемого сигнала ΔU от времени t , отсчитываемого с момента посылки токового импульса в линию AB или петлю Q . Функция $\Delta U(t)$ преобразуется в соответствии с математическим выражением того или иного вида трансформации в форму, в которой построены теоретические кривые зондирования (формы кажущегося удельного сопротивления ρ_r^D дальней зоны, ρ_r^E ближней зоны, $S_r^{D\Phi}$ $f(t)$ и т.п.) [18]-[20].

На основе сопоставления экспериментальных кривых с теоретическими определяются обобщенные параметры разреза (ордината минимума кривой кажущегося удельного сопротивления ρ_{Tmin} суммарная продольная проводимость S) и выделяются характерные элементы экспериментальной кривой, отражающие геоэлектрические особенности изучаемого разреза. В результате анализа различия экспериментальных кривых, полученных в разных пунктах профиля или площади, делается заключение о характере изменения геоэлектрического разреза в пределах участка исследований.

Приближенная оценка времени t , при котором на кривой зондирования можно отметить проявление слоя, залегающего на глубине h , делается по формуле

$$h \approx \bar{K} \sqrt{\rho t}, \quad (50)$$

где ρ – среднее удельное сопротивление толщи, перекрывающей данный геоэлектрический слой, Ом · м;
 t – время проявления слоя на кривой ЗС, с;
 \bar{K} – коэффициент пропорциональности.

При использовании установки $AB-q$ с $L/h \geq 4$, $\bar{K} \leq 2 \cdot 10^3$, а при $L/h \leq 1$, $\bar{K} \leq 10^3$

8.7.18 Обработка записей процессов становления поля заключается в определении амплитуд сигнала с равномерно увеличивающимся шагом по оси времен ($t_{i+1} = kt_i$, $k = 1.05 \div 1.25$).

8.7.19 Трансформация нормированного сигнала $\Delta U(t)$ в кривые ρ_τ^D дальней зоны осуществляется по формулам:

для установки $AB-MN$

$$\rho_\tau^D = \left| \frac{2\pi L^3 \cdot 10^{-6}}{l_{AB} l_{MN} (3 \cos^2 \Theta - 2)} \Delta U(t) \right|, \quad (51)$$

для установки $AB-q$

$$\rho_\tau^D = \left| \frac{2\pi L^4 \cdot 10^{-6}}{3l_{AB} \tilde{S}_q \sin \Theta} \Delta U(t) \right|, \quad (52)$$

Для получения кривых ρ_τ^B ближней зоны используются выражения: для установки $AB-q$

$$\rho_\tau^B = 10^{-25/3} \left[\frac{8\pi \cdot l_{AB} L \tilde{S}_q \sin \Theta}{t^{5/2} \Delta U(t)} \right]^{2/3}, \quad (53)$$

для установки $Q-q$

$$\rho_\tau^B = 10^{-25/3} \left[\frac{16\pi \cdot \tilde{S}_Q \tilde{S}_q}{t^{5/2} \Delta U(t)} \right]^{2/3}, \quad (54)$$

где l_{AB} – длина питающей линии, м;

l_{MN} – длина приемной линии, м;

L – расстояние между питающими и приемными диполями, м;

\tilde{S}_Q – эффективная площадь питающей петли, равная произведению площади петли на число витков, м²;

\tilde{S}_q – эффективная площадь приемной петли, м²;

Θ – азимутальный угол, град.

8.7.20 Для сопоставления экспериментальных кривых с теоретическими графики кажущегося удельного сопротивления ρ_τ строят в билогарифмическом масштабе с модулем 6,25 см, по оси абсцисс откладываются значения $\sqrt{2\pi \cdot t}$.

8.7.21 Для построения кривых зондирования с установкой $AB-q$ в форме графиков $f(t)$, объединяющих измерения в ближней и дальней зонах источника, трансформация нормированного сигнала $\Delta U(t)$ осуществляется по формуле

$$f(t) = \frac{L^2}{0,3l_{AB} \tilde{S}_q \sin \Theta} \cdot t \Delta U(t). \quad (55)$$

Эти кривые строят на билогарифмическом бланке с модулем 10 см, по оси абсцисс откладывается величина t .

8.7.22 При достаточно высокой повторяемости (сходимости) измерения процесса становления поля строятся дифференциальные, кривые зондирования

$$\frac{\partial \lg \Delta U(t)}{\partial \lg t} = \frac{\Delta U'(t)}{\Delta U(t)} t. \quad (56)$$

На таких кривых подчеркиваются слабо выраженные особенности сигнала, обусловленные неоднородностью геологического разреза.

При измерении процесса становления поля в ближней зоне источника могут строиться дифференциальные кривые кажущейся продольной проводимости $S_{\tau}^{ДФ}$, нормированные по модели «проводящая плоскость в пространстве». С этой целью по значениям нормированного сигнала $\Delta U(t)$ и первой производной его по времени $\Delta U'(t)$ определяется функция

$$f(m) = \frac{\mu_0 L}{K} \frac{\Delta U'(t)}{[\Delta U(t)]^2}, \quad (57)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м;

L - разнос установки, м;

K - безразмерный геометрический коэффициент установки.

8.7.23 При интерпретации материалов ЗС проводятся:

1) сопоставление экспериментальной кривой с палетками двухслойных и трехслойных кривых с определением параметров верхнего слоя d_1 , ρ_1 и обобщенных параметров разреза – суммарной продольной проводимости S , ординаты минимума кривой кажущегося удельного сопротивления $\rho_{\tau min}$ (п. 8.7.17);

2) определение коэффициента пропорциональности k между средним продольным сопротивлением ρ_l и $\rho_{\tau min}$ на основе обобщенной модели геоэлектрического разреза по теоретическим кривым;

3) расчет глубины H залегания опорного горизонта высокого удельного сопротивления по формуле

$$H = \rho_l S = k \rho_{\tau min} S, \quad (58)$$

где S – суммарная продольная проводимость разреза, См;

k – коэффициент пропорциональности.

8.7.24 При работах с установкой $AB-q$ анализируются расхождения в результатах, полученных на взаимно-встречных установках. Это позволяет уточнить характер залегания опорного горизонта высокого удельного сопротивления. В случае положения приемной петли q относительно линии AB в сторону падения опорного горизонта высокого удельного сопротивления имеет место завышение измеряемого сигнала относительно сигнала, измеренного на встречной установке $AB-q$. Изменение расхождения вдоль профиля характеризует изменения углов падения опорного горизонта. По этому признаку выделяются участки с постоянным углом падения слоев, антиклинальные и синклинальные зоны.

8.7.25 По результатам интерпретации строятся профили и карты величин $\rho_{\tau min}$, S , p_b , H . По результатам сопоставления отдельных рассчитанных значений d и H с данными каротажа глубоких скважин определяют коррекцию, которую следует ввести в другие значения d и H для построения геоэлектрического разреза по профилю или карты упомянутых характеристик.

8.7.26 Для прослеживания изменений по профилю (площади) слабо выраженных особенностей процесса становления поля строят схемы корреляции характерных элементов дифференциальных кривых. При постоянных геометрических параметрах установки ЗС изменения вдоль профиля наблюдений уровня площадок $S_{\tau}^{ДФ}$ и изменения времени, на котором отмечаются площадки $S_{\tau}^{ДФ}$ или характерные элементы дифференциальных кривых, указывают на изменения глубины залегания и проводимости отдельных слоев разреза.

8.7.27 Комиссия, принимающая полевые материалы партии, проверяет соблюдение требований настоящего ТКП и производит оценку качества работ. Комиссии должны быть представлены: проект работ, основные первичные документы, результаты обработки и предварительной интерпретации полевых материалов.

При оценке качества выполненных работ комиссией должны приниматься во внимание качество графиков, правильность их обработки, состояние документации, качество работы аппаратуры, полнота и степень достоверности решения поставленных геологических задач.

8.7.28 Отчет по работе партии составляют в соответствии с общими требованиями настоящего ТКП. К отчету должны быть приложены альбом со всеми полевыми кривыми ЗС (компьютерные файлы) и схема расположения установок в масштабе съемки. Обработка на ПЭВМ ведется по специальным программам.

8.7.29 Промежуточное положение между методами ЗС и переходных процессов занимает модификация зондирования, основанная на изучении скорости изменения во времени неустановившегося магнитного поля вихревых токов, которые возбуждаются в среде импульсами магнитного поля путем включения и выключения постоянного тока в генераторном контуре, расположенном на поверхности земли. Иногда этот способ называется зондированием в модификации переходных процессов – ЗМПП.

ЗМПП применяется для изучения геологического разреза, поисков и разведки месторождений, представленных рудами низкого и среднего удельного сопротивления (медно-колчеданных, полиметаллических, медно-никелевых, засоленных вод и др.), рудами среднего удельного сопротивления (10-100 Ом·м) в средах высокого удельного сопротивления (кимберлитовых трубок), а также для картирования рудовмещающих или рудоконтролирующих толщ низкого удельного сопротивления, для выяснения природы магнитных аномалий (разбраковка их на обусловленные сплошным или вкрапленным магнетитовым оруденением). ЗМПП используют также для определения удельного сопротивления и мощности рыхлых отложений.

Метод особенно эффективен при наличии в разрезе пород большого удельного сопротивления. Глубинность метода, зависящая от электромагнитных свойств искомым объектов, вмещающих пород, а также масштабов оруденения и магнитного момента установки, в благоприятных случаях может достигать 500-600 м и более.

Вследствие того, что размер установок, применяемых в модификации, меньше глубины до объекта поисков или соизмерим с ней, метод обладает повышенной разрешающей способностью по сравнению с другими методами постоянного и переменного тока.

8.7.30 В зависимости от конкретных задач применяются соосная модификация СМПП и совмещенная МППО. В совмещенной модификации в качестве источника поля используются совмещенные в пространстве генераторная и приемная, обычно квадратные, петли. В соосной модификации центры квадратных генераторной и приемной петель совпадают, но размеры приемной петли существенно меньше размера генераторной. В случае применения совмещенной установки следует убедиться в отсутствии влияния генераторного контура на приемный. С этой целью необходимо выполнить опытные работы соосной установкой с постепенным увеличением размера приемной петли до размеров генераторной на участке, обладающем средними для района (или несколько выше среднего) значениями удельного сопротивления вмещающей среды.

8.7.31 Измерения в модификации ЗМПП рекомендуется производить с аппаратурой типа «Цикл-6,-7» или ей подобной в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Количество накоплений и циклов наблюдения на точках выбирают в зависимости от уровня и характера электрических помех.

8.7.32 Работы в модификациях МППО и СМПП проводятся по сети профилей, расположенных обычно вкрест предполагаемого простирания искомым объектов или

структур. Шаг наблюдений по профилям, размеры петель и параметры силовой установки выбираются в зависимости от решаемой геологической задачи, размеров и электрических свойств рудных тел, продольной проводимости насосов и удельного сопротивления вмещающих пород. Так, глубинность в благоприятных условиях может достигать 500-600 м. ЗМПП применим при поисках рудных тел типа диска, перекрытого электропроводными отложениями, относительные геоэлектрические параметры которых удовлетворяют неравенству

$$(S_p/S)^{1/2} \geq 1,4h/R_p \quad (59)$$

где S_p – продольная проводимость, См;

R_p – радиус, м;

h – глубина залегания рудной залежи линзообразной формы, м;

S – продольная проводимость перекрывающих отложений (пласт, плоскость, среда типа полупространства), См.

В этом случае относительная аномалия эдс, измеренная соосной установкой, будет

$$U_{ан}/U_n \geq 1,3 \quad (60)$$

где $U_{ан}$, U_n – эдс переходного процесса, измеренные над и вне рудного тела на времени, с,

$$t \approx 0,62/\alpha_{ЗМПП}; \quad (61)$$

$$\alpha_{ЗМПП} = 1/(\mu_0 S_p R_p). \quad (62)$$

Сеть наблюдений обычно выбирают равной стороне петли. Допускается сгущение шага по профилю с целью более уверенного прослеживания аномалий.

8.7.33 Требования к размещению генераторной и измерительной аппаратуры, к петлям и их раскладке на местности, так же как и к сопротивлениям утечки и методике их измерений, те же, что и в методе переходных процессов.

8.7.34 Ежедневно перед началом работы на профиле проводятся измерения переходного процесса на заранее изготовленном эквиваленте среды, результаты которых сравниваются со значениями, полученными в процессе предполевого ремонта и настройки аппаратуры. В случае обнаружения расхождений, превышающих повторяемость (сходимость) наблюдений с данным типом аппаратуры, необходимо принять меры по устранению неисправностей.

8.7.35 Измерения на точках производятся на всех временных задержках до полного исчезновения сигнала. В начале и конце измерения переходного процесса измеряется ток в генераторном контуре. При работах на разрезах с высоким удельным сопротивлением применяются меры по ликвидации собственного колебательного процесса в генераторной и приемной петлях. В случае появления отрицательных значений эдс в обязательном порядке повторяются измерения сопротивления утечек в генераторной и приемной петлях, источниках питания и регистраторе.

8.7.36 Работа аппаратуры типа «Цикл-6,-7» управляется программным обеспечением с помощью переносного (Note Book) или карманного компьютера. В электронный файл записываются название участка, номер пикета и профиля, сила тока в начале и конце измерения, число накоплений, а также эдс на каждой задержке. В случае необходимости указывается положение петли относительно различных металлических предметов, электролиний, а также других сооружений.

Для определения повторяемости (сходимости) измерений проводятся специальные контрольные наблюдения в объеме 5 % от рядовых. Оценка точности наблюдений производится по относительной средней арифметической погрешности. Для надежных измерений (превышающих втрое порог чувствительности аппаратуры) повторяемость

(сходимость) не должна превышать 10–15%.

8.7.37 По результатам измерений в полевых условиях производится вычисление значений ρ_{τ} по формуле (54), построение кривых кажущихся удельных сопротивлений ρ_{τ} в билогарифмических масштабах в зависимости от \sqrt{t} .

8.7.38 На выявленных по плану S_a аномальных участках выполняются детализационные исследования ЗМПП в соосном варианте. Размер генераторного контура в случае необходимости (кривые ρ_{τ} в области больших времен не выходят на асимптоту) увеличивают в два-три раза. С этой же целью рекомендуется увеличивать силу тока в генераторном контуре, число накоплений и циклов измерений. Шаг наблюдений и расстояние между профилями выбирают такими, чтобы уверенно изучить морфологию объекта, образующего аномалию, и исключить необходимость последующих работ ЗМПП в крупном масштабе, при этом шаг наблюдений уменьшается до 1/4—1/2 стороны петли.

8.7.39 В процессе камеральной обработки рассчитывают и строят кривые кажущейся продольной проводимости S_{τ} и глубины H_{τ} , определяют значения аномальной продольной проводимости S_a . Используя результаты расчетов по разным методикам, а также методику аналитического продолжения электромагнитного поля в нижнее полупространство и отображения локальных проводников на вертикальных разрезах электромагнитного поля, строят сечения или разрезы, на которых изображены изолинии проводимости, и по ним судят о глубине до локального проводника, его форме и внутреннем строении, строят геоэлектрические планы и разрезы с выделением потенциально рудоносных объектов и горизонтов, рудоконтролирующих толщ, вычисляют электромагнитные параметры возмущающих объектов, определяют их пространственное положение и оценивают степень перспективности выявленных аномалий на искомое оруденение как с позиций данных ЗМПП, так и с учетом результатов всех предшествующих геолого-геофизических работ. В случае необходимости приводится местоположение рекомендуемых для проверки аномалий горных выработок и скважин.

8.7.40 После полевых работ комиссии по приемке полевых материалов предъявляются электронные файлы, в том числе с контрольными наблюдениями, расчеты погрешности, разрезы и графики зависимости суммарной проводимости горных пород разреза от глубины $S(H)$.

8.7.41 К отчету прилагаются разрезы $S(H)$, ρ_{τ} , планы изолиний суммарной и аномальной продольной проводимости, планы мощности и продольной проводимости наносов, геоэлектрические разрезы по профилям через аномальные участки и другие материалы в соответствии с условиями работ с учетом [15].

8.8 Методы электромагнитного профилирования

8.8.1 Общие сведения

8.8.1.1 Группа методов электромагнитного профилирования (ЭМП) основана на наблюдении характеристик электромагнитного поля искусственных источников, включая его частотные и переходные характеристики, и предназначена для изучения геоэлектрического разреза в горизонтальном направлении. Методы ЭМП используют широкий диапазон частот (задержек).

8.8.1.2 Среди методов ЭМП особо выделяются индуктивные методы, основанные на изучении либо низкочастотного гармонического поля, либо неустановившегося электромагнитного поля.

8.8.1.3 Формы журнала для наблюдений методом дипольного электромагнитного профилирования и журнала для наблюдений полуосей эллипса поляризации методом дипольного электромагнитного профилирования приведены в приложениях Т и У.

8.8.2 Электромагнитные методы профилирования с гармоническим полем

8.8.2.1 Применяются следующие электромагнитные методы профилирования с гармоническим полем: метод незаземленной петли (НП), метод длинного кабеля (ДК) и метод дипольного электромагнитного профилирования (ДЭМП). Из них методы НП и ДК являются низкочастотными индуктивными, а метод ДЭМП осуществляется в широком диапазоне частот и в него входит как низкочастотная модификация метод дипольного индуктивного профилирования (ДИП), где поле изучается в ближней зоне.

При работе методом ДЭМП электромагнитное поле возбуждается переменным током, текущим в небольшой генераторной рамке. Магнитную составляющую поля измеряют при помощи рамки в точке, расположенной на заданном постоянном расстоянии от генераторной рамки.

8.8.2.2 Частота либо диапазон частот, на которых ведутся полевые работы, определяются удельной электропроводностью и размерами рудных залежей, а также удельной электропроводностью покровных и рудовмещающих пород.

При поисках крупных рудных тел, сложенных хорошо проводящими (например, медно-колчеданными) рудами, рабочие частоты выбираются в диапазоне от первых десятков до первых сотен герц.

При поисках руд средней удельной электропроводности (например, колчеданно-полиметаллических и полиметаллических) рабочие частоты выбираются в диапазоне первых сотен – нескольких тысяч герц.

При поисках руд, имеющих одновременно высокое удельное сопротивление и высокую магнитную проницаемость, общую съемку целесообразно выполнять на частотах в диапазоне единиц – десятков герц.

При поисках руд, имеющих одновременно невысокое удельное сопротивление и высокую магнитную проницаемость, можно применять более широкий диапазон частот, например от единиц герц до килогерц. Конкретные значения частот выбираются в соответствии с методическим руководством.

8.8.2.3 Электромагнитные методы гармонического поля на разных частотах реагируют на низкое удельное сопротивление, повышенную магнитную проницаемость, а также повышенное удельное сопротивление горных пород и руд. В зависимости от указанных свойств методы гармонического поля применяются при поисках и разведке рудных тел низкого удельного сопротивления, изучении природы аномальных зон, обнаруженных другими методами разведочной геофизики, наземной детализации результатов аэроэлектроразведочных работ, для детального геологического картирования контактов, тектонически ослабленных зон, графитизированных пород, а также при поисках магнитных руд железа и даже объектов повышенного удельного сопротивления.

Для поисков руд низкого удельного сопротивления, залегающих на глубине до 100-200 м, и изучения природы аномальных зон, обнаруженных другими методами, применяют главным образом метод НП. Для решения задач геологического картирования используют в основном метод ДК. Метод ДЭМП и его модификацию ДИП применяют при поисках и разведке хорошо проводящих объектов, в основном сульфидных рудных тел, детализации ранее обнаруженных аномалий и геологическом картировании. В отличие от методов НП и ДК метод ДЭМП с применяемой аппаратурой обладает меньшей глубиной (десятки метров), но имеет более высокую производительность и проще по организации работ.

Гармонические методы электромагнитного поля обычно применяют в комплексе с другими геофизическими и геохимическими методами.

8.8.2.4 Полевые работы электромагнитными методами проводятся обычно при поисковых и картировочных работах масштабов 1:10000 – 1:25000, при детальных поисках масштабов 1:10000 – 1:5000, а также при детализации результатов, полученных

при съемках указанных выше масштабов. Опытные работы по выбору рабочих режимов выполняются на отдельных профилях, расположенных в пределах хорошо изученных участков.

8.8.3 Дипольное электромагнитное и индуктивное профилирование

8.8.3.1 Метод дипольного электромагнитного профилирования (ДЭМП) основан на изучении различных характеристик электромагнитного поля при перемещении рамки (магнитного диполя) по профилю исследуемого участка. В зависимости от используемой модификации измеряются различные характеристики переменного электромагнитного поля. С помощью аппаратуры типа ДЭМП, АЭММ-3 или другой аналогичной измеряют составляющие напряженности магнитного поля H_z , H_r и фазовый сдвиг φ_{Hz} ; аппаратура типа ЭПП-2 позволяет измерять отношение полуосей эллипса поляризации вектора магнитного поля b/a_0 .

Метод применяется для поисков и прослеживания объектов низкого удельного сопротивления, в основном сульфидных рудных тел; выделения и прослеживания контактов, зон тектонических нарушений и других объектов при геологическом картировании; выделения магнетитовых тел с большой магнитной проницаемостью, а также при инженерно-геологической съемке (выявление карстовых зон, прослеживание трасс трубопроводов и т. д.).

Глубинность метода соизмерима с разносом между генераторной и приемной рамками, зависит от частоты электромагнитного поля и достигает 60-70 м при поисках рудных тел низкого удельного сопротивления, залегающих во вмещающей среде высокого удельного сопротивления.

8.8.3.2 В соответствии с [21] при поисках рудных объектов наиболее употребительным является наблюдение вертикальной составляющей напряженности переменного магнитного поля H_z и фазового сдвига φ_{Hz} (поле создается током в генераторной рамке, расположенной в горизонтальной плоскости).

Для проведения геологического картирования на основе изучения эффективного удельного сопротивления среды более подходящим является измерение двух составляющих (радиальной и вертикальной) либо полуосей эллипса поляризации вектора магнитного поля и угла наклона большой оси эллипса поляризации.

8.8.3.3 Рабочая частота выбирается в соответствии с решаемыми геологическими задачами и с учетом возможной дифференциации вмещающих пород и рудных объектов по удельному электрическому сопротивлению ρ в соответствии с методическими рекомендациями. Так, низкочастотный диапазон ($f = 0,125 \div 8$ кГц) применяется при удельном сопротивлении объектов, составляющем единицы и доли ом-метров (при удельном сопротивлении вмещающих пород – тысячи ом-метров). При картировании объектов более высокого удельного сопротивления (например, $\rho = n \cdot 100$ Ом·м), залегающих среди вмещающих пород повышенного удельного сопротивления ($\rho = 1000 \div 2000$ Ом·м), применяется высокочастотный диапазон аппаратуры (например, более 10 кГц).

При поисках и картировании объектов повышенной магнитной проницаемости ($\mu > 1,1$ СГС) следует выбирать наиболее низкие частоты. В этом случае удельная электропроводность практически не будет оказывать влияния на измерения, а аномалия будет обусловлена магнитной проницаемостью. На более высоких частотах подчеркивается удельная электропроводность руд повышенной магнитной проницаемости.

При поисках рудных тел низкого удельного сопротивления, залегающих в породах высокого удельного сопротивления, частота выбирается близкой к оптимальной f_{opt} , Гц, значение которой определяется как

$$f_{onm} = \frac{P_{onm}}{\mu_0 \sigma \cdot 2\pi L m}, \quad (63)$$

где $P_{onm} = 11$ (оптимальное значение индукционного параметра);

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

σ – его наименьшая удельная электропроводность, См/м;

L – разнос рамок, м;

m – наименьшая мощность пласта, м.

При решении задач геологического картирования над объектом типа массива горных пород (полупространство) по эффективному удельному сопротивлению $\tilde{\rho}$ частота, Гц, выбирается как

$$f_{onm} > \frac{0,6 \div 1,0}{\mu_0 \sigma \cdot 2\pi L^2}, \quad (64)$$

где σ - значение удельной электропроводности пород, соответствующее значению пород минимального удельного сопротивления, имеющих в районе исследований.

Вышеописанные принципы выбора рабочей частоты, основанные на теоретических расчетах и опыте ранее проведенных работ, используются при проектировании. Беря их за основу, следует перед началом работ в новом районе проводить опытные наблюдения над известными типовыми разрезами с различными характеристиками установок и частот для уточнения их оптимальных значений.

При решении поисково-картировочных задач разнос L следует брать максимально возможным по техническим данным аппаратуры, чтобы обеспечить наибольшую глубину исследования. Поскольку значение сигнала находится в прямой зависимости от расстояния между рамками, то чем больше это расстояние, тем меньше точность съемки. Следовательно, расстояние между рамками будет в каждом конкретном случае зависеть от поставленной задачи и геолого-геофизических условий проведения работ. Наиболее часто употребляются разносы рамок 60-80 м (при работе без приставки, увеличивающей мощность генератора).

8.8.3.4 Если перекрывающие рыхлые отложения и вмещающие породы имеют сравнительно высокое удельное электрическое сопротивление и не искажают наблюдаемое поле в диапазоне частот, смежном с f_{onm} , то в качестве рабочей следует взять более высокую частоту, чем f_{onm} . Если же влияние указанных геологических образований начинает сказываться, т. е. происходит снижение значений аномалии или изменяется ее знак, то следует взять более низкую частоту, чем f_{onm} , или уменьшить разнос рамок.

8.8.3.5 Согласно выбранному для съемки разносу приемная и генераторная рамки устанавливаются на соответствующих точках изучаемого профиля. Направление расположения генераторной и приемной рамок относительно нумерации точек сохраняется для всего участка. В полевом журнале (приложение Т) отмечаются дата, участок, номер профиля, рабочая частота и в виде схематической зарисовки приводится разнос и направление перемещения рамок. Далее производится измерение искомых величин. Их значения записываются в полевой журнал (приложение Т). Точка записи наблюдений относится к середине разноса генераторной и приемной рамок. В графе «Примечание» ведется абрис рельефа. Здесь же отмечаются источники помех (ЛЭП, линия связи, железные дороги и т. д.), значение помехи $U_{п}$, а также опорного сигнала $U_{о.с.}$.

8.8.3.6 Выделенные аномалии детализируются с целью расчленения аномальной зоны на отдельные объекты и определения их более точного местоположения, формы, удельной электропроводности и условий залегания. Аномалии должны прослеживаться на двух-трех смежных профилях. Если аномалия наблюдается только на одном профиле,

то работы проводятся на дополнительных (промежуточных по отношению к основной сети) профилях, расположенных по обе стороны от профиля, на котором выделена аномалия.

Для расчленения аномальной зоны необходимо последовательно уменьшать разносы между рамками в 1,5-2 раза, но так, чтобы наблюдались уверенные аномалии над каждым проводником, а также уменьшить шаг измерения до 2-5 м.

Аномальные участки профиля должны быть исследованы с различными разносами на оптимальных частотах с целью более точного определения элементов залегания возмущающих объектов.

8.8.3.7 Площадные работы методом ДЭМП в масштабах 1:25000 – 1:10000 и крупнее проводятся по заранее разбитой сети. Масштаб съемки выбирается в зависимости от размеров исследуемых объектов. Наиболее часто употребляемое расстояние между точками в зависимости от масштаба и сложности геоэлектрического разреза составляет 10-20, в простых условиях – до 40 м.

8.8.3.8 При производстве наблюдений выдерживаются следующие требования:

а) Измерение вертикальной составляющей магнитного поля и фазы производится в следующем порядке.

Включается генератор и при отключенной приемной рамке по показанию индикаторного прибора измеряется опорный сигнал $U_{o.c.}$. После отключения кабеля опорного сигнала рамки приводятся в рабочее положение по уровням и пикетам, а поступающий с приемной рамки сигнал посредством аттенюатора доводится до значения опорного сигнала. После этого подключается опорный сигнал и фазовращателем устанавливается минимум отсчета по индикаторному прибору. Окончательная компенсация выполняется на наиболее чувствительной шкале. При положении полной компенсации с аттенюатора снимается отсчет в делениях N_c (или долях вольта U_{Hz}) сигнала, пропорционального напряженности суммарного поля H_z , а со шкалы фазовращателя – отсчет суммарного фазового сдвига φ_c . Полнота компенсации проверяется выключением генератора. При этом стрелка индикатора не должна изменять своего положения. Отклонение ее определяет сигнал помехи U_{II} . Если нет особых причин, $U_{o.c.}$ и U_{II} измеряются и записываются только в конце смены. После указанных измерений на первой точке по команде оператора установка перемещается на следующую точку, где проводится лишь компенсация и считывание значений N_c и φ_c . При переходе от точки к точке не следует выключать аппаратуру и изменять положения аттенюатора и фазовращателя, установленные при компенсации на предыдущей точке, так как в нормальном поле эти положения сохраняются. В случае же изменения поля проводится лишь декомпенсация. Все измерения записываются в полевой журнал для наблюдений методом дипольного электромагнитного профилирования, приведенный в приложении Т.

б) При измерении угла ψ наклона большой оси эллипса поляризации магнитного поля генераторная рамка ориентируется горизонтально по уровню. Антенный столик приемной рамки устанавливается горизонтально и ориентируется таким образом, чтобы горизонтальная ось вращения антенны рамки была направлена перпендикулярно вертикальной плоскости, проходящей через центр генераторной и приемной рамок.

Затем включаются генератор и измеритель. Приемную рамку плавно вращают вокруг горизонтальной оси до получения минимальных значений на шкале измерительного прибора. Если поляризация поля близка к круговой, а также в случае помех угол ψ измеряется несколько раз при подходе к минимуму сигнала с разных сторон. При этом угол наклона определяется как среднее арифметическое из нескольких отсчетов. Значение угла ψ отсчитывается по вертикальному лимбу в направлении, противоположном движению часовой стрелки. При этом предполагается, что наблюдатель обращен лицом к приемной антенне, а генератор расположен слева от него.

Обычно значения ψ находятся в пределах $0^\circ \leq \psi \leq 90^\circ$ и нижний конец нормали к плоскости витков приемной антенны наклонен в сторону, противоположную от

генератора. В непосредственной близости от искомого объекта значение ψ может превышать 90° .

в) Отношение $|H_z^z|/|H_r^z|$ определяется путем отдельного измерения электроразведочных сигналов $U_{H_z^z}$, $U_{H_r^z}$. При измерениях генераторная рамка устанавливается горизонтально, а приемная – последовательно в горизонтальном и вертикальном положении (горизонтальная ось вращения плоскости витков приемной рамки устанавливается перпендикулярно вертикальной плоскости, проходящей через центр генераторной и приемной рамок).

г) Определение отношения $|a|/|b|$ производится вращением приемной рамки вокруг горизонтальной оси и измерением значений последовательно в положениях, при которых наблюдаются максимум и минимум сигнала. Во всех случаях измерения выполняются с таким расчетом, чтобы стрелка прибора измерителя отклонялась за пределы первой трети шкалы. Данные полевых наблюдений записываются в полевой журнал для наблюдений методом дипольного электромагнитного профилирования, приведенный в приложении Т.

Результаты измерений ψ , $|H_z^z|/|H_r^z|$ или $|a|/|b|$ пересчитываются в значения $\tilde{\rho}$.

8.8.3.9 Оператор должен хорошо знать факторы, влияющие на повторяемость (сходимость) наблюдений, и уметь уменьшать влияние помех.

Значение помехи U_{II} определяется по показанию индикатора измерителя при подключенной приемной рамке и выключенном генераторе или в рабочем положении всей установки в момент компенсации.

Значение помехи U_{II} фиксируется в журнале наблюдений для положения аттенюатора, соответствующего компенсации. Повторяемость (сходимость) измерения при помехах может быть увеличена за счет роста амплитуды измеряемого сигнала. Это можно сделать уменьшением разноса L , что не всегда возможно, так как уменьшение разноса приведет к резкому снижению глубины исследования. Если съемка на участках проводилась при наличии помех, то наблюдения обязательно должны быть проконтролированы. Наибольшая повторяемость (сходимость) в измерении составляющей может оказаться из-за несоблюдения расстояния между рамками. Рассчитано, что неточность в определении расстояния, равная 1%, обуславливает повторяемость (сходимость) при наблюдении составляющей в 3%. Для того чтобы избежать неточности за счет разориентации генераторной и приемной рамок, достаточно их плоскости установить горизонтально с систематической погрешностью $\pm 5^\circ$.

8.8.3.10 Для определения повторяемости (сходимости) полевых работ необходимо делать не менее 5% контрольных измерений от общего объема выполненных работ. Контрольные измерения должны быть равномерно распределены по площади съемки. Повторяемость (сходимость) измерений вычисляется по формуле, %,

$$\delta = \frac{2\Delta}{U_1 + U_2} \cdot 100, \quad (65)$$

где $\Delta = U_1 - U_2$;

U_1 – рядовое измерение;

U_2 – контрольное.

Опыт работ показывает, что с увеличением частоты создаваемого поля точность съемки понижается. На частотах до 10 кГц можно проектировать точность съемки 1-3 %, а на частотах свыше 10 кГц она не должна превышать 5-7 %, по фазовому сдвигу – 1° .

Контрольные измерения должны записываться в специальный журнал и, как правило, делаться другим исполнителем, а при возможности – другими приборами.

8.8.3.11 Обработка результатов наблюдений начинается с выбора значений нормального поля напряженности и фазового сдвига – H_{z_0} и $\varphi_{H_{z_0}}$ соответственно. Это

средние значения на равных протяженных интервалах профилей, где распространены породы наиболее высокого удельного сопротивления, практически не вызывающие перераспределения наблюдаемого поля. Значения H_{z_0} и $\varphi_{H_{z_0}}$ устанавливаются для каждого профиля, разноса и комплекта аппаратуры самостоятельно. Выбранные значения записываются в графу «Примечание» полевого журнала (приложение Т).

Выбор способа построения графиков наблюдаемых величин определяется задачами проводимых работ. Если основной задачей является обнаружение локальных объектов, то по оси ординат графиков откладываются значения модуля напряженности магнитного поля H_z в единицах нормального поля H_{z_0}

$$h_z = |H_z| / |H_{z_0}| \quad (66)$$

где h_z – обозначение, принятое для изображения результатов теоретических или модельных работ.

Линия нормального поля при построении графиков совмещается с линией профиля. Вертикальный масштаб графиков выбирается с таким расчетом, чтобы в 1 см укладывалось значение, превосходящее трехкратную среднюю арифметическую повторяемость (сходимость) измерений. Строят также графики аномальных значений фазового сдвига φ_{aH_z} . Результаты записываются в полевой журнал для наблюдений методом дипольного электромагнитного профилирования, приведенный в приложении Т.

Горизонтальный масштаб графиков должен соответствовать масштабу съемки или имеющейся геологической документации. На графиках отмечаются интервалы заметных изменений наблюдаемого поля из-за рельефа, ЛЭП и других помех.

8.8.3.12 Контрольный пункт для проверки аппаратуры выбирается в нормальном поле. На контрольном пункте снимают отсчеты составляющих поля H в делениях шкалы приемника. Значения составляющих H , измеренные утром и вечером, должны совпадать в пределах повторяемости (сходимости) наблюдений, рассчитанной в соответствии с формулой 65. В случае большого расхождения отсчетов на отработанных профилях следует сделать повторные измерения. В начале и конце полевого сезона, а также при разных расхождениях в отсчетах на контрольном пункте определяется коэффициент преобразования (чувствительности) рамки.

8.8.3.13 В соответствии с методическими требованиями при решении задач геологического картирования материалы представляются в виде графиков эффективного удельного сопротивления $\tilde{\rho}$ или $|H|/H_{z_0}$. По значениям ψ , $|H_z^z|/|H_r^z|$, $|a|/|b|$ и соответствующим кривым определяют $\tilde{\rho}/(L^2 f)$.

8.8.3.14 Влияние рельефа приводит к тому, что генераторная и приемная рамки располагаются на разных уровнях поверхности земли. При углах наклона рельефа до 3-5° поправка не превышает 1% и ее можно не учитывать. Если наклон рельефа сохраняется или монотонно изменяется на большом расстоянии, поправку, определяющую влияние рельефа, можно не учитывать и при больших углах, так как в этом случае наблюдается плавное уменьшение значений нормального поля, которое отличается от аномалии над рудным объектом. При пересечении резких перегибов рельефа форма изменения наблюдаемого поля на склонах имеет большое сходство с аномалиями над маломощными крутопадающими пластами. Поскольку фазовая аномалия наблюдаемого поля не зависит от разности высот рамок, это помогает отбраковывать аномалии, обусловленные влиянием рельефа. Но так как фазовые аномалии могут отсутствовать и над пластами низкого удельного сопротивления, то в сложных случаях поправку, учитывающую влияние рельефа, следует вводить и, таким образом, проверять аномалию напряженности поля на склонах. Коэффициент, учитывающий влияние рельефа, K_p , вычисляется по формуле

$$K_p = \frac{2}{3 \cos(2\beta) - 1}, \quad (67)$$

где β – угол наклона рельефа.

Для определения $\tilde{\rho}$ в условиях пересеченной местности можно использовать также зависимости $|H_z|/|H_r|$ и ψ от $\tilde{\rho}/(L^2 f)$ для горизонтальной поверхности, если наблюдения проводить по способу «взаимного визирования». В этом способе плоскости витков генераторной и приемной рамок устанавливаются горизонтально и затем визируют друг на друга. При этом для установки, ориентированной перпендикулярно простиранию склона, плоскости витков устанавливаются параллельно дневной поверхности и измеряется составляющая, перпендикулярная склону. Для измерения составляющей, параллельной склону, приемная рамка поворачивается на 90° .

8.8.3.15 По графикам напряженности составляющих поля и его фазового сдвига определяют геометрические и физические характеристики возмущающих объектов: местоположение в плане, глубину залегания, мощность, угол падения, размеры по простиранию, удельную электропроводность, индукционный в низком диапазоне частот (электромагнитный – в широком) параметр (для метода ДЭМП).

8.8.3.16 Приемной комиссии представляются следующие полевые материалы:

- полевые журналы,
- полевая графика,
- журналы контрольных измерений,
- аппаратурные журналы,
- электронные файлы,
- данные вычислений точности наблюдений.

8.8.3.17 На стадии разведки и детализации аномалий, полученных при поисковых работах с аппаратурой типа ДЭМП, возможно измерение полуосей эллипса поляризации с аппаратурой типа ЭПП. Запись наблюдений производится по форме приложения У.

8.8.3.18 При геоэлектрическом картировании рабочая частота выбирается так, чтобы измерения проводились при заданном разnose в области малых параметров ($b/a_0 \leq 0,2$) для пород низкого удельного сопротивления. При картировании пород высокого удельного сопротивления частота ограничивается требованием $b/a_0 \geq 0,01$; b/a_0 – малая полуось эллипса поляризации магнитного поля магнитного диполя в единицах нормального значения большой полуоси a_0 (a_0 определяется из результатов наблюдений большой полуоси эллипса поляризации a путем усреднения ее значений на безаномальном участке).

8.9 Метод переходных процессов

8.9.1 Метод переходных процессов (МПП) применяется для поисков и разведки рудных месторождений, руды которых обладают высокой электропроводностью. Это могут быть сульфидные и магнетитовые руды с массивной и прожилково-вкрапленной текстурой. Метод может применяться также для поисков каменных углей, графита, шунгита и использоваться для геоэлектрокартирования поверхностных отложений с повышенной электропроводностью, изучения геологического разреза.

Наибольшую эффективность МПП имеет тогда, когда в геоэлектрическом разрезе присутствуют экранирующие образования либо высокого, либо низкого удельного сопротивления.

Основными мешающими факторами для применения МПП являются интенсивные промышленные и естественные электромагнитные поля, нестабильные во времени, и встречающиеся в разрезе участки с повышенной электропроводностью (графитизация, пиритизация).

8.9.2 Сущность метода заключается в изучении неустановившегося магнитного поля вихревых токов, которые возникают во всех проводящих электрический ток геологических образованиях при ступенчатом изменении тока в контуре, расположенном на поверхности

земли либо в воздухе. Скорость затухания вихревых токов определяется тепловыми потерями в проводнике и его размерами. Чем крупнее проводящее тело и больше его электропроводность, тем дольше длится переходный процесс. Поэтому по крутизне переходной характеристики можно судить о качестве проводника (его размерах и электропроводности). С другой стороны, можно подобрать такой промежуток времени для регистрации переходного процесса, когда существует вторичное поле, вызванное в основном крупными, хорошо проводящими рудными телами, а поле относительно слабых проводников (поверхностные образования, тектонические зоны и т. п.) уже исчезло.

8.9.3 В зависимости от решаемых геологических задач применяются наземный, скважинный (МПП-С) и воздушный (МПП-А) варианты МПП. Наземный вариант включает две модификации – с совмещенными петлями, или однопетлевую (МППО), и рамочно-петлевую (МППР). В модификации с совмещенными петлями для возбуждения и приема используются самостоятельные пространственно совмещенные петли, обычно квадратные. В случае, когда для приема и возбуждения поля используется одна и та же петля, модификация называется однопетлевой.

В модификации МППР и скважинном варианте источником поля служит незаземленная петля, раскладываемая на поверхности земли, а регистрация переходного процесса осуществляется с помощью приемной рамки, перемещаемой либо по наземным профилям (как внутри генераторной петли, так и вне ее), либо по стволу скважины.

Работы методом МПП в наземных условиях подразделяются на поисковые и детализационные.

8.9.4 Поисковые работы проводятся однопетлевой (или с совмещенными петлями) модификацией МПП по сети профилей, расположенных вкрест предполагаемого простирания искомым объектов. Шаг наблюдений по профилю и расстояние между профилями выбираются равными стороне петли (т. е. петли располагаются вплотную одна к другой без пропусков и перекрытий). Петли раскладываются по заранее подготовленной, закрепленной на местности сети наблюдений.

При поисках пластообразных рудных тел, длина которых по простиранию в 2-2,5 раза больше стороны квадратной петли, допускается проводить съемку с шагом, равным удвоенной длине стороны петли. При этом петли на соседних профилях раскладываются в шахматном порядке.

8.9.5 Размер петли (длина стороны) выбирается равным предельной глубине, на которой может быть обнаружен эквивалентный шар (соответствующий рудной залежи), представляющий промышленный интерес. Предельная глубина оценивается по формулам, приводимым в методических руководствах, с учетом размера и электропроводности искомого объекта, уровня промышленных помех, продольной проводимости поверхностных отложений и удельного сопротивления рудовмещающей среды. Если исходных данных для проектирования недостаточно, то целесообразно выполнить небольшой объем опытных работ на участке с типичными для всего района геоэлектрическими условиями. В зависимости от конкретных условий местности (заболоченность, пересеченный рельеф и т. д.) размер петли может быть выбран как больше, так и меньше оптимального.

8.9.6 Провода, применяемые для приемных и генераторных петель, должны иметь хорошую изоляцию, а для генераторных петель – и низкое сопротивление. При работах с одной генераторно-приемной петлей необходимо применять только медные провода (без стальных жил). Ремонт провода должен проводиться только горячим способом.

При раскладке проводов необходимо соблюдать следующие требования:

а) провода не должны проходить в непосредственной близости от металлических предметов (железных вышек, буровых установок и др., вдоль трубопроводов, водотоков и т. п.);

б) провода петли не должны образовывать дополнительных витков, оставаться на

катушках или в бухтах. Излишки провода раскладываются на дневной поверхности бифилярно;

в) части проводов с соединениями на углах петли и в других разъемах должны быть подвешены, не касаться травы, кустов и др.;

г) провода петель, соединительные и подводящие шланги, источники питания, корпуса аппаратуры должны быть тщательно изолированы от земли. Сопротивление утечки установки в целом не должно быть менее 5 МОм;

д) если применяются две петли (одна – генераторная, вторая – приемная), то необходимо строго следить за тем, чтобы одноименные клеммы выхода генератора и входа измерительного устройства всегда подключались к одной и той же стороне соответствующих петель. Для этого, например, клемма выхода генератора, промаркированная цифрой 1 или знаком «+», должна всегда подключаться к начальному по вращению часовой стрелки концу петли. Принятый порядок должен сохраняться на весь период полевых работ.

8.9.7 Ежедневно перед началом измерений проверяется работоспособность аппаратуры и производится ее калибровка с помощью предусмотренного для каждого типа аппаратуры встроенного калибратора.

8.9.8. На участке поисковых работ перед началом измерений с помощью мегомметра производится определение утечек на землю генераторной петли (приемной петли), источника питания, корпусов генератора и приемника. Сопротивления утечек должны быть не менее 5 МОм. При меньшем значении применяются меры по улучшению изоляции.

8.9.9 Переходная характеристика в петле измеряется с помощью электроразведочной аппаратуры типа «Цикл-6,-7», МПП-ВП или аналогичной. Управление работой измерителя осуществляется с помощью переносного компьютера типа Note Book по беспроводному каналу Bluetooth или кабельному соединению RS-232.

Для возбуждения импульсов в генераторной петле используются генераторы типа МПП-200, ВП-1000.

8.9.11 В полевой журнал и электронный файл записываются: название участка, дата, размер петли, положение сторон и углов петли или ее центра со схемой переноса, сила тока в генераторной петле в начале и в конце измерения характеристики, измеренное значение эдс на каждой задержке при разной полярности напряжения приемной петли (U_a , U_b), время начала и конца измерения переходной характеристики. Кроме того, приводятся, при необходимости, положения проводов петли относительно водотоков, оврагов, металлических предметов, сооружений, электролиний и др.

Одновременно с записью с помощью программного обеспечения на билוגарифмическом бланке строится переходная характеристика. В случае отклонения наблюдаемых значений эдс на отдельных временах задержки от равномерного процесса затухания эти наблюдения должны быть повторены. До получения переходной характеристики перекладка проводов петли запрещается.

Форма полевого журнала для наблюдений методом переходных процессов в однопетлевом варианте приведена в приложении Ф.

8.9.12 Результаты поисковой съемки представляются в виде графиков отношения эдс к силе тока (U/I) в генераторном контуре вдоль профиля наблюдений на всех временах задержки и в виде планов изолиний тех же значений для наиболее характерных моментов времени. Для отдельных точек профиля строятся переходные характеристики.

8.9.13 В случае широкого развития в районе работ хорошо проводящих поверхностных отложений или вмещающих пород целесообразно проводить анализ кривых $\sigma_k(t)$ и $\sigma_k(\tau_k)$ с целью выявления «аномальных петель» и определения продольной проводимости покровных отложений и удельной электропроводности вмещающих горных пород; τ_k и σ_k рассчитываются по асимптотическим формулам для полупространства с учетом измеренной эдс и параметров установки:

$$\tau_k = \left[\frac{111,4}{Ut/(IL)} \right]^{2/3}, \quad (68)$$

$$\sigma_k = \frac{800 t}{L^2 \tau_k}, \quad (69)$$

где τ_k – кажущееся обобщенное время, мс;

U – значение измеренной эдс, мкВ;

I – ток, А;

t – время, на котором проводится измерение, мс;

L – половина длины стороны квадратной петли, м.

Результаты вычислений записываются в электронные файлы и полевой журнал для обработки наблюдений методом переходных процессов, приведенный в приложении X.

Для аномальных участков по переходной характеристике определяется показатель затухания

$$\alpha_{МПП} = 1/(\sigma \cdot \mu \cdot Q) \quad (70)$$

где σ – удельная электропроводность, См/м;

μ – магнитная проницаемость, безразмерная величина;

Q – множитель, пропорциональный эффективному сечению проводника;

Показатель затухания определяет скорость затухания переходного процесса:

$$\alpha_{МПП} = 1/p_{МПП} \quad (71)$$

где $p_{МПП}$ – индукционный параметр в методе переходных процессов.

8.9.14 На выделенных аномальных участках проводятся детализационные работы с использованием модификаций МППР (или МППО).

Детализация с помощью модификации МППР производится по профилям, расположенным вкрест простирания аномалии (аномальной зоны). Генераторная петля располагается так, чтобы детализируемая аномальная зона находилась внутри петли в ее центральной части. Наблюдения обычно ведутся по сети 50x20 либо 100x50 м с необходимым сгущением в наиболее интересных участках профиля.

Размер генераторной петли выбирается из условия $2L = 1,4h$, где $2L$ – длина стороны петли; h – предельная глубина обнаружения тела. При этом обязательно учитываются результаты поисковых работ. В зависимости от конкретных условий допускается отклонение от оптимального размера петли.

Измерения по профилям проводятся как внутри, так и вне петли до получения всей формы аномальной кривой. В случае необходимости детализировать аномалию при нескольких положениях петли наблюдения в каждой из них проводятся аналогично.

8.9.15 При работах в рамочно-петлевой модификации генератор и источники питания располагаются вне петли на расстоянии 10-15 м от нее. Технически наблюдения осуществляются в соответствии с инструкцией по эксплуатации конкретного типа аппаратуры.

Включение генератора в петлю и подключение измерителя к приемной рамке производятся строго определенно. На приемной рамке должно быть указано направление положительной нормали к обмотке рамки. При векторных трехкомпонентных исследованиях измеряются вертикальная и две горизонтальные составляющие неустановившегося вектора относительно принятой системы координат: с осью z , направленной вертикально вниз, осью x – горизонтально вдоль профиля наблюдений в сторону возрастающих номеров пикетов, осью y – горизонтально, перпендикулярно профилю в соответствии с правой системой координат.

8.9.16 Все составляющие неустановившегося сигнала измеряются по профилю на одном-двух оптимальных временах задержки. Оптимальным считается наименьшее

время, на котором практически не сказывается на результатах измерений влияние поверхностных отложений и вмещающих горных пород.

Переходная характеристика измеряется в точках максимального значения той или иной составляющей на всех временных задержках.

8.9.17 При наличии аномалии каждый профиль детализационных работ измеряется дважды при прямом и обратном ходах. При прямом ходе наблюдения переходного процесса осуществляются по точкам с выбранным шагом наблюдений (20-40 м), при обратном – повторяется по крайней мере каждая 5-я точка и производится сгущение точек наблюдений для более точного определения местоположения точек с экстремальными значениями эдс и точек перехода кривых через нуль.

8.9.18 Результатом измерений является электронный файл и (или) полевой журнал, содержащие измеренные значения входного сигнала на определенных временах, значения тока в генераторной петле и служебные данные, являющиеся паспортом пикета, на котором производили измерения.

Непосредственно в поле строят графики эдс по профилю.

Форма полевого журнала для наблюдений на одном времени задержки методом переходных процессов в рамочно-петлевом варианте и журнала для наблюдений переходных характеристик методом переходных процессов в рамочно петлевом варианте приведены в приложениях Ц и Ш.

8.9.19 Результаты детализационных работ представляются в виде переходных характеристик в отдельных точках аномальной кривой, а также в виде графиков вдоль профиля наблюдений вертикальной и горизонтальных составляющих неустановившегося сигнала относительно принятой системы координат. Измеренные значения эдс приводятся к 1 А тока в петле и 1 м² эффективной площади приемной рамки.

В некоторых случаях целесообразно представлять результаты измерений в виде проекций вектора на определенные плоскости.

8.9.20 При детализационных работах в модификации МППО производятся измерения по одному-двум профилям с петлей тех же размеров, с которыми производилась поисковая съемка, и с петлей в два раза меньшего размера. Шаг съемки принимается равным 1/4 длины стороны петли. Измерения эдс выполняются на временах задержки, на которых практически не сказывается влияние поверхностных отложений и вмещающей среды.

Результаты съемки представляются в виде графиков эдс, отнесенных к току (при $t = \text{const}$) вдоль профиля наблюдений, и в виде переходных характеристик.

8.9.21 Относительная средняя арифметическая повторяемость (сходимость) по участку определяется по результатам повторных наблюдений по формуле, %

$$\delta = \frac{U_1/I_1 - U_2/I_2}{U_{cp}} \cdot 100, \quad (72)$$

где U_1 и U_2 – рядовые и контрольные наблюдения эдс переходного процесса;

U_{cp} – среднее значение эдс переходного процесса по результатам рядовых и контрольных наблюдений:

$$U_{cp} = \frac{U_1/I_1 + U_2/I_2}{2}, \quad (73)$$

I_1, I_2 – сила тока при рядовых и контрольных наблюдениях соответственно. Контроль выполняется в объеме не менее 5 %.

Для надежных измерений (втрое превышающих амплитуду помех) повторяемость (сходимость) δ не должна превышать 20 %. В случае сильных помех рекомендуется повторить цикл измерений. Необходимо также контролировать отрицательные значения UI (при измерениях однопетлевым вариантом). Если они повторяются, то одной из

причин может быть влияние индукционно возбуждаемой ВП.

8.9.22 Приемной комиссии представляются следующие полевые материалы:

- 1) паспорта пикетов в виде электронных файлов,
- 2) полевая графика,
- 3) геологические карты и разрезы в масштабе съемки с предварительными результатами проведенных работ,
- 4) контрольные измерения,
- 5) данные вычислений погрешности наблюдений.

9 Методы скважинной электроразведки

9.1 Метод электрической корреляции

9.1.1 Метод электрической корреляции (МЭК) относится к корреляционным методам скважинной геофизики, главным назначением которых является идентификация разрезов буровых скважин. Наиболее распространена его реализация в скважинах, которые бурятся в соответствии с ТКП 45-4.01-199-2010, являющаяся вариантом метода заряда с измерением характеристик электрического поля. Кроме того, применяются поисково-картировочный и шахтный варианты.

В первом случае в скважине, называемой зарядной, помещают питающий электрод A , а по соседней, измерительной, скважине снимают кривые потенциала или его градиента – корреляционные кривые. Если расстояние между зарядной и измерительной скважинами достаточно мало в сравнении с глубиной погружения электрода A , то в однородной изотропной среде точка максимума кривой потенциала или точка перехода через нуль кривой градиента, называемые характерными точками, совпадут с основанием перпендикуляра, опущенного из точки расположения электрода A на ось измерительной скважины, а кривые будут иметь нормальный вид. Если же в межскважинной, заскважинной или подзабойной области имеются достаточно крупные геоэлектрические неоднородности или оказывает влияние анизотропия, то корреляционные кривые соответственно изменяются. В частности, на кривых потенциала могут образоваться точки минимума, дополнительные максимумы, изменится крутизна ветвей. Весьма важной особенностью будет смещение Δ характерных точек по отношению к точке основания перпендикуляра, называемое аномалией положения характерной точки:

$$\Delta = h_{x.T} - h_{OH} , \quad (74)$$

где $h_{x.T}$ – глубина по скважине характерной точки;

h_{OH} – глубина по скважине основания перпендикуляра.

Смещение характерной точки с основания перпендикуляра на проводящее подсечение в измерительной скважине в определенных условиях является признаком его коррелируемости с заряженным подсечением в зарядной скважине. В этом случае в характерной точке кривой определяется потенциал заряженного объекта, что позволяет оценивать размеры последнего.

В случае поисково-картировочного варианта МЭК электрод A последовательно заземляется в точках дневной поверхности, а по измерительной скважине снимаются кривые потенциала. При этом геоэлектрические неоднородности и анизотропия соответствующим образом отражаются на корреляционных кривых.

9.1.2 МЭК применяется на месторождениях медно-колчеданных, полиметаллических, свинцовых, магнетитовых и других руд низкого удельного сопротивления. Известны примеры успешных работ по МЭК на месторождениях антрацита и термальных вод. Метод может найти применение и при разведке пресноводных потоков (с их подсаливанием).

Основной задачей МЭК является корреляция электропроводных или анизотропных, а в ряде случаев пород с высоким удельным сопротивлением (типа даек), подсеченных

скважинами, горными выработками или же выходящих на дневную поверхность и под покровные отложения. В отличие от других видов корреляции геологических и геофизических данных в МЭК получают кривые, непосредственно несущие информацию о строении области, расположенной между коррелируемыми трассами (межскважинная, межвыработочная область, область между скважиной и профилем на дневной поверхности и т. д.). Поэтому при производстве работ по МЭК в благоприятных условиях могут быть решены различные задачи, связанные с изучением указанных областей.

При помощи скважинного варианта МЭК решают такие количественные задачи: определение длины выклинивающегося между скважинами рудного тела, определение контура тела в плоскости профиля, оценка размеров рудных тел по одному или нескольким их подсечениям. При помощи поисково-картировочного варианта МЭК определяют направление падения, выявляют области выхода рудных тел, электропроводных и анизотропных наклонно залегающих пород под покровные отложения, устанавливают положение объектов низкого удельного сопротивления относительно измерительной скважины. Если используется прямоугольная сеть заземлений электрода A , то по корреляционным кривым могут быть построены в нужном числе планы изолиний метода заряда. Наблюдения в поисково-картировочном варианте используют также для выбора положения точек заряда при поисковых работах по этому методу.

С помощью МЭК в благоприятных условиях обнаруживаются рудные тела, не подсеченные скважинами и залегающие в околоскважинной (поисково-картировочный вариант), подзабойной (оба варианта МЭК), межскважинной или заскважинной (скважинный вариант) областях. Оба варианта метода используются также для изучения анизотропии. Полноценное использование возможностей МЭК требует предварительного проведения каротажных работ, в обязательном порядке включающих каротаж сопротивлений, а также инклинометрию и, желательно, наклонометрию. Обоснованность проектирования, полнота и эффективность интерпретации в МЭК достигаются лишь при учете данных буровой геофизики.

9.1.3 В проекте на производство работ по МЭК указывается положение, число и последовательность использования точек заряда в скважинах, очередность съемки кривых, положение заземления B_{∞} . В случае применения поисково-картировочного варианта, кроме того, намечается число, положение и длина профилей (лучей) и шаг заземления электрода A . Проект работ составляется исходя из геологической задачи, физико-геологических условий проведения работ, расположения, очередности бурения, кривизны и состояния скважин, положения и характера изучаемых объектов.

При проектировании работ используют планы расположения скважин, геологические профили и крупномасштабные карты, погоризонтные планы, интерпретированные каротажные диаграммы и данные инклинометрии.

Проект работ в процессе их выполнения может корректироваться на основе предварительной интерпретации получаемых материалов.

9.1.4 Для проведения работ используют, как правило, каротажные станции, позволяющие осуществлять непрерывную запись корреляционных кривых, однако при условии, что входное сопротивление измерительного канала достаточно велико (не менее 2 МОм). В противном случае на корреляционную кривую будет накладываться кривая токового каротажа.

Корреляционные кривые записываются в масштабах глубины 1:500 или 1:100 при скорости подъема, не превышающей 1500-2000 м/ч.

В тех случаях, когда требуется применить большие токи питания (превышающие максимально допустимые для каротажных станций согласно их паспорту), произвести особо точные наблюдения или же непрерывная запись кривых невозможна, измерения выполняют поточечно с шагом 2-10 м и менее при помощи соответствующей аппаратуры. В условиях шахт применяют аппаратуру типа ЭРА, ЭРП-1. В некоторых случаях

целесообразно применять электроразведочные станции. Для того чтобы разместить точки заряда в зарядной скважине в коррелируемом или каком-либо другом электропроводном подсечении, руководствуясь диаграммами КС, на которые должны быть вынесены результаты комплексной интерпретации, электрод *A* опускают сначала ниже подсечения на 3–5 м, затем собирают искательную цепь по принципу токового каротажа и при подъеме определяют точное местоположение электрода. Электрод *A* можно изготовить из отрезка бурильной трубы длиной 0,5–1 м. Опускать его в скважину рекомендуется на каротажном кабеле соответствующей (в зависимости от глубины) марки. В тех случаях, когда устраиваются долговременные заряды, следует использовать провода, применяемые в электроразведке.

При работах по поисково-картировочному варианту МЭК для заземлений *A* используют штыревые электроды. Обычно применяют радиальную сеть заземлений электрода *A*, состоящую из восьми лучей с центром на устье измерительной скважины. Реже применяется квадратная сеть. Шаг заземления электрода *A* составляет 50–100 м. В качестве электрода *M* используют электрод каротажного зонда, поэтому электрод *N* должен быть свинцовым. При выполнении работ он, как правило, устанавливается у устья измерительной скважины. Исключения составляют специальные случаи измерений, например при оценке размеров рудных тел. Электрод *B* относят от измерительной скважины на расстояние, в 10–20 раз превышающее расстояние между зарядной и измерительной скважинами, лучше всего в сторону падения пород. В каждом случае желательно оценивать поле этого электрода в области наблюдений.

9.1.5 К изоляции цепей при производстве работ по МЭК предъявляются такие же требования, как и в каротаже по методу КС, изложенные в соответствующих нормативных документах по геофизическим исследованиям в скважинах. Особое внимание нужно обращать на утечки из питающих линий в линию *M*, наличие которых приводит к наложению на корреляционную кривую прямой или зеркальной кривой КС одноэлектродного зонда.

Контрольные измерения производят в объеме 5–10 %. Повторяемость (сходимость) по данным контроля не должны превышать $\pm 5\%$. Кроме того, контрольные измерения обязательны в тех случаях, когда полученные корреляционные кривые имеют необычный вид (прямолинейная форма, ступени, острые локальные или, напротив, тупые, растянутые экстремумы, кратные экстремумы и т. д.).

Предварительно должна быть выполнена проверка аппаратуры и оборудования на исправность, а также всех линий установки на утечки.

9.1.6 При производстве МЭК кривые градиента потенциала снимают в тех случаях, когда запись кривых потенциала становится невозможной из-за помех, а также при детализации с целью расчленения широких (тупых) зон максимума потенциала.

9.1.7 Нормальные корреляционные кривые являются главными, чаще всего вне зависимости от протяженности имеют один максимум потенциала, резкие экстремумы и изрезанность на них отсутствуют. Характерные осложнения кривых, но не нарушающие их плавного вида, могут быть связаны с неподсеченными измерительными скважинами или выклинивающимися рудными телами. Результаты наблюдений бракуются, если не указана или неправильно определена полярность кривых, в случаях низкой точности измерений, недостаточного контроля, искажений за счет утечек, низкого входного сопротивления измерительного канала и различных помех, ошибок в привязке по глубине и на местности, низкой чувствительности приемной цепи, небрежного оформления документации.

Материалы измерений подвергаются предварительной обработке, куда входит вычисление масштаба, обводка кривых, разбивка глубин, выделение характерных точек, точек минимума, определение их глубин.

9.1.8 Интерпретации предшествует графическая подготовка материалов, которая состоит в изготовлении соответствующих графических основ и определении положения

точек основания перпендикуляра, если скважины имеют значительные азимутальные искривления. Для этого применяют графоаналитический способ обработки результатов инклинометрии, которые служат также для определения линий «границы интерпретации», представляющей собой след на дневной поверхности плоскости, перпендикулярной оси измерительной скважины в низшей точке измерения.

Интерпретация результатов МЭК производится на основе сопоставления пространственного положения характерных точек и точек минимума кривых, оснований перпендикуляра, электропроводных подсечений в измерительных и зарядных скважинах и заряженных подсечений в них с учетом положения стволов скважин. Положения характерных точек и точек минимума корреляционных кривых, относительно заряженных подсечений фиксируются при помощи корреляционных осей – отрезков прямых, соединяющих эти точки и подсечения между собой. Принимаются во внимание взаимное положение корреляционных осей и форма кривых. В частности, форма кривых играет большую роль в случае четкообразно залегающих или экранирующих друг друга рудных тел низкого удельного сопротивления, а также при определении положения даек.

Размеры рудных тел оцениваются с использованием в качестве модели трехосного эллипсоида.

Коэффициент анизотропии Δ мощных однородных толщ определяется по графикам $\Delta = f(l)$, где Δ – аномалия положения (формула 74) в измерительной скважине, а l – расстояние от устья последней до электрода A в поисково-картировочном варианте МЭК.

Направление падения рудных тел определяется по характерным точкам и точкам минимума кривых, полученных при работах поисково-картировочным вариантом МЭК.

9.1.9 Наиболее важные результаты МЭК используют в следующих случаях:

1) при построении корреляционного профиля по данным МЭК, бурения и каротажа. Помимо обычной для геологического профиля нагрузки наносятся корреляционные кривые, отмечаются характерные точки, точки минимума, проводятся корреляционные оси. В случае подземных горизонтальных скважин, а также корреляций по горным выработкам составляют корреляционный план;

2) при построении корреляционных кривых по профилям, которые применяются в поисково-картировочном варианте МЭК и представляют собой сгруппированные по лучам кривые потенциала, дополненные спрямленной геологической колонкой, диаграммами КС и другими каротажными кривыми и линиями глубин;

3) при построении карты корреляционной увязки, которая представляет собой план расположения скважин, соединенных сплошными линиями в случае увязки и линиями с разрывом – при невязке коррелируемых подсечений. На нее наносятся также контуры рудных тел, разрывы, дайки и другие особенности, выявленные по МЭК, каротажу и бурению.

9.1.10 Первичные материалы МЭК включают в себя полевые журналы (электронные файлы), планы размещения зарядов в скважинах, краткие сведения об условиях проведения работ и ленты с записями кривых МЭК.

Результаты работ по МЭК представляют в виде передаточного акта, объяснительной записки, а также главы в отчете геологоразведочной организации, составленных в соответствии с действующими инструкциями.

Графические приложения в случае необходимости могут включать геологическую карту и профили, каротажные диаграммы и инклинограммы, план расположения скважин, погоризонтальные планы, а также чертежи, поясняющие интерпретацию.

9.2 Метод вызванной поляризации в скважинах

9.2.1 Геофизические исследования в скважинах методом вызванной поляризации (ВП) проводятся главным образом с целью поисков и оконтуривания в пространстве зон сульфидной минерализации. На первом этапе работ скважинные варианты метода ВП применяются с использованием картировочных и неглубоких скважин при поисках

колчеданного, полиметаллического, меднопорфирового, марганцевого, золото-колчеданного, редкометального и других видов оруденения ниже забоя скважин и в околоскважинном пространстве. Исследования методом ВП в поисковых и поисково-разведочных скважинах позволяют оценить, пересечен ли объект, вызвавший наземную аномалию ВП, обнаружить зоны сульфидной минерализации в окрестности скважины или под ее забоем, увязать оруденение между скважинами.

Скважинный вариант метода ВП наиболее эффективен при поисках и оконтуривании сульфидного оруденения, когда зона пиритизации совпадает с рудной зоной, или сплошные колчеданные руды окружены сульфидной вкрапленностью, или поляризуются только сами рудные залежи. В тех случаях, когда оруденение по поляризуемости не отличается от вмещающей его зоны измененных пород, исследования методом ВП позволяют оценить только структуру зоны сульфидной минерализации: полого или круто она залегает, выклинивается с глубиной или же, наоборот, имеет очень большие масштабы.

9.2.2 Глубинность скважинных вариантов метода ВП зависит от глубины скважин, густоты их сети, соотношения удельных сопротивлений коренных пород и перекрывающих их рыхлых отложений, морфологии рудной зоны и чувствительности аппаратуры. При отсутствии наносов или в случае превышения удельного сопротивления рыхлой толщи 30-50 Ом·м с помощью скважин глубиной 15-30 м, пройденных по профилю с густотой 1 скважина на 50 или 100 м, можно обнаружить оруденение, подходящее к границе раздела рыхлой толщи и коренных пород, или «слепое» оруденение на глубинах 50-100 м.

При глубинах поисковых скважин 100 м и густоте их 1 скважина на 100 или 200 м четкие аномалии наблюдаются над зонами слепого сульфидного оруденения, расположенного на глубинах 150-200 м. При поисках меднопорфировых месторождений, крупных колчеданных или полиметаллических залежей поисково-оценочные работы ведутся с использованием скважин глубиной 200-300 м, пройденных по профилю на расстоянии 200 или 400 м друг от друга. В этом случае могут быть получены четкие аномалии ВП от зон сульфидной минерализации, расположенных на глубинах 250-500 м.

Когда рыхлая толща имеет очень низкое удельное сопротивление (единицы, первые десятки ом-метров) и наблюдения с измерительными линиями на дневной поверхности неэффективны из-за незначительности сигналов и поляризуемости, необходимо проходить скважины глубиной 100-200 м на расстоянии 100-200 м при поисках объектов, расположенных на глубинах до 200-250 м.

9.2.3 Скважинные варианты метода ВП комплексированы с другими методами скважинной электроразведки, наземной электроразведки и другими полевыми геофизическими и геохимическими методами. В комплекс разведочных работ скважинный вариант метода ВП включается при оценке геофизических аномалий, рудопроявлений и геохимических ореолов, при геолого-геофизических съемках в масштабе 1:50000 (1:25000) и при поисковых работах в масштабах 1:10000 и крупнее. В районах без наносов, где аномалии практически не искажены влиянием рыхлых отложений низкого удельного сопротивления, скважинные варианты метода ВП используются в первых поисковых скважинах в комплексе со скважинным вариантом метода естественного поля, методами электромагнитной индуктивной электроразведки и методом заряда. В закрытых и полузакрытых районах, где наземная электроразведка методом ВП становится менее эффективной, скважинные варианты метода ВП с использованием картировочных и неглубоких скважин становятся ведущими при поисковых работах. Вместе с методом естественного поля и геохимическими работами по вторичным и первичным ореолам этот метод позволяет с высокой эффективностью выявлять зоны сульфидной минерализации и хорошо поляризующиеся рудные тела под значительной толщиной рыхлых отложений.

9.2.4 Работы в скважинном варианте метода ВП в основном проводятся в модификации измерений «скважина–поверхность» («заряд ВП»). При этом питающий

электрод *A* помещается в скважине, а электрод *B* удаляется на несколько километров.

Приемные электроды располагаются на профиле, проходящем через скважину (основной профиль) и ориентированном вкрест предполагаемого простирания зоны сульфидной минерализации или просто по профилю разведочной сети, на котором пробурена скважина. На поисковой стадии работ в закрытых и полузакрытых районах наблюдения ведутся по основному профилю, так как на соседних параллельных профилях измеряемые значения сравнительно невелики. В районах, где удельное сопротивление перекрывающих отложений большое, или в открытых районах при «заряде ВП» наблюдения выполняются по сети профилей, расположенных через 50 или 100 м, причем расстояние между крайними и центральным профилями может превышать глубину скважины.

Расстояние между приемными электродами и шаг их перемещения выбираются так же, как при обычной наземной съемке. Расстояние между профилями должно быть не больше ожидаемых горизонтальных размеров изучаемого объекта, чтобы не менее одного профиля оказалось над объектом.

При исследованиях по системе профилей рекомендуется использовать методику векторной съемки, когда измерения ведутся с двумя приемными линиями – одной, расположенной по профилю, и второй, перпендикулярной ему, и на каждой точке измеряются две взаимно перпендикулярные составляющие поляризуемого поля и поля ВП. Кажущаяся поляризуемость η_k определяется как отношение проекции вектора поля ВП на вектор поляризуемого поля к величине последнего:

$$\eta_k = \frac{E_{ВП} \cdot \cos \alpha}{E_{np}} \quad (75)$$

где $E_{ВП}$, E_{np} – модули векторов;
 $\cos \alpha$ – косинус угла между ними.

По данным векторной съемки можно вычислить также параметр v_k характеризующий перпендикулярную поляризуемому полю составляющую поля ВП и поляризуемого поля:

$$v_k = \frac{E_{ВП} \sin \alpha}{E_{np}}, \quad (76)$$

По результатам векторной съемки наиболее четко прослеживается положение зон сульфидной минерализации по простиранию.

9.2.5 Исследования в модификации «скважина-поверхность» всегда выполняют при нескольких положениях питающего электрода *A*. В мелких скважинах их два – в устье (на обсадной трубе, если она есть) и на забое скважины. В глубоких скважинах их может быть три или четыре: В этом случае кроме устья и забоя скважины питающий электрод или помещают в рудные подсечения (если таковые имеются), или располагают их равномерно по глубине скважины.

9.2.6 Кроме модификации «скважина-поверхность» в поисковых и поисково-разведочных скважинах используются следующие модификации: измерения с параметрической каротажной установкой (чаще всего *A5MIN* или *A3MIN*) и измерения с установкой вертикального профиля; один питающий электрод в устье скважины, второй – на расстоянии 2,5-3,5 км, приемные электроды в скважине, размер *MN-20*, реже 10 м.

Если скважины глубокие, свыше 250–300 м, вместо модификации вертикального профиля удобнее использовать модификацию комбинированного профилирования ВП по скважине с двумя последовательно подсоединяемыми к кабелю зондами *A40M20N* и *M20N40A*. Если пересечены рудные тела низкого удельного сопротивления или породы разреза, то при использовании модификации вертикального профиля уже на расстоянии 250-350 м от обсадной трубы разности потенциалов, измеряемые по скважине, сравнительно малы, вследствие чего эффективность модификации падает (сказываются

экранные эффекты). Модификация комбинированного профилирования ВП в этих условиях позволяет обнаружить аномальные объекты в околоскважинном пространстве.

Кроме перечисленных модификаций в сложных случаях для определения положения оруденения в разрезе используются модификации «поверхность-скважина» (азимутальная установка) и «скважина-скважина» (электрическая корреляция ВП). При исследованиях с этими модификациями установки делаются следующим образом: один питающий электрод (электрод *A*) помещается на поверхности или в соседней скважине, а второй (электрод *B*) относится в «бесконечность». Приемные электроды располагаются в скважине. Размер *MN* – 20 м. По характеру изменений аномалий поляризуемости при разных положениях электрода *A* удаётся оценить положение аномального объекта,

9.2.7 На разных стадиях поисково-разведочных работ применяются различные комплексы скважинных модификаций метода ВП.

9.2.7.1 При геологических съёмках масштаба 1:50000 (1:25000) и поисковых работах масштаба 1:10000, когда проходятся в основном картировочные и мелкие поисковые скважины глубиной 10-50 м, скважинные геофизические работы выполняются в модификации «скважина-поверхность» при двух заземлениях. Расстояние между скважинами составляет 50-100 м. Измерения из каждой скважины выполняются с линией *MN* длиной 20-40 м на расстоянии 150-250 м по профилю в обе стороны от скважины.

9.2.7.2 В первых одиночных поисковых скважинах, которые бурят с целью проверки геохимических ореолов или аномалий, полученных при наземной съёмке ВП и при исследованиях с использованием мелких скважин, выполняются работы в модификациях «скважина-поверхность» (два, иногда три заземления, с тем чтобы оценить характер изменения аномалий при погружении источника тока в скважину), вертикального профиля, измерений с параметрической установкой и «поверхность-скважина» (азимутальная) последняя применяется, если элементы залегания оруденения и вмещающей толщи не удалось оценить по результатам ДЭМП-С и поисково-картировочного варианта МЭК, которые обычно осуществляются в первых поисковых скважинах). В модификации «скважина-поверхность» измерения выполняются в обе стороны по профилю с удалением на 300-500 м от скважины с приемными линиями *MN* длиной 20-50 м (в зависимости от условий наблюдений). Если есть возможность проследить аномалию по простиранию, наблюдения проводят и по соседним профилям.

9.2.7.3 На следующих этапах поисковых и поисково-разведочных работ, когда ведётся бурение с целью оконтуривания оруденения, используется практически тот же комплекс модификаций скважинного варианта метода ВП, что и на первоначальном этапе работ, но резко уменьшается объём исследований в модификации «скважина-поверхность» и в комплекс включаются исследования в модификации «скважина-скважина» (электрическая корреляция ВП). Заряд ВП выполняется не во всех скважинах, а в основном только в самых глубоких. Корреляция ВП используется в случаях, когда трудно уточнить положение вкрапленного оруденения в межскважинном пространстве с помощью радиопросвечивания и метода электрической корреляции. Если скважины глубокие, работы ведутся в соответствии с указаниями, приведенными в 9.2.6.

9.2.8 В процессе детальных поисков и предварительной разведки часто возникает необходимость вести поиски новых рудных зон под забоем скважин или в стороне от них. Для решения этой задачи в тех случаях, когда нельзя использовать модификацию «скважина-поверхность» (поверхность застроена, большая мощность наносов и т.д.), можно применять модификацию вертикального профиля, но с заземлением не на обсадку, а на забой скважины. Она технически неудобна из-за наличия кабеля и провода, но с ее помощью можно обнаруживать подход забоя скважины к зоне сульфидной минерализации. Поиски зон сульфидной минерализации, параллельных основной, осуществляются с помощью модификации «скважина-поверхность». Дальность обнаружения таких зон обычно не менее 1,5 глубины погружения источника тока. В связи с этим на рудопроявлениях и месторождениях желательно использовать все глубокие

скважины в поисковых целях.

9.2.9 Работы методом ВП-С целесообразно выполнять отдельным отрядом, который ведет также исследования методами заряда с измерением характеристик электрического и магнитного полей, электрической корреляции, работы по изучению переходной характеристики ВП и т.д. В этом случае, используя однотипную аппаратуру, можно осуществить комплексные поисковые исследования по обнаружению и разбраковке аномальных объектов, отличающихся от вмещающих пород по кажущейся поляризуемости, удельной электропроводности, оценить их вещественный состав.

9.2.10 В конкретных геологических условиях методику работ следует уточнить, в связи с чем при проектировании поисковых работ с использованием скважинного варианта ВП 10-20 % от общего объема намеченных исследований должно быть выделено для проведения опытно-методических работ на известных рудных объектах в аналогичных геологических условиях. Особенно важно тщательно проанализировать, какой глубины должны быть картировочные и мелкие скважины, поскольку иногда достаточно увеличить глубину ухода скважины в коренные породы на 5-10 м, чтобы резко вырос аномальным эффект, получаемый от слепых рудных тел. Поэтому результаты опытно-методических работ должны позволить решить вопрос о достаточном расстоянии между скважинами, позволяющем не пропустить аномальные объекты. Должны быть решены вопросы выбора размера MN , длины исследуемого профиля, длительности питающего импульса, времени измерения после выключения тока и т.д. Кроме того, могут использоваться другие модификации метода ВП-С – потенциал-установки, дипольные установки и т.д. Все эти модификации нашли сравнительно редкое применение и поэтому не регламентируются данной инструкцией, но они могут с соответствующим обоснованием применяться наряду с рекомендуемыми выше модификациями ВП-С на соответствующих этапах работ.

9.2.11 Аппаратура для скважинных измерений методом ВП практически та же, что и при детализационных работах на дневной поверхности. Она должна быть снабжена всем необходимым для спуско-подъемных работ. Кроме того, рационально иметь приставку, позволяющую вести непрерывную запись поляризационных эффектов с параметрической установкой.

9.2.11.1 Работы в варианте ВП-С имеют повышенную опасность. Используется генераторная установка мощностью 20 кВт при напряжении питающей линии до 1000 В. Поэтому на буровой (при работе с заземлением на обсадную трубу) или около скважины никто не должен находиться. Остальные правила безопасности те же, что и при наземных работах методом ВП.

9.2.11.2 Электрические помехи очень сильно затрудняют измерения методом ВП. Меры по борьбе с ними практически те же, что и при наземной съемке, указанные в пункте 8.5 настоящего ТКП.

9.2.11.3 Исследования в модификации вертикального профиля бывают часто затруднены из-за помех, поэтому для увеличения измеряемых сигналов следует переходить к работам в модификации комбинированного профилирования ВП, с которой такое увеличение сигналов возможно почти на порядок.

9.2.11.4 Исследования в модификации «скважина-поверхность» облегчаются при увеличении размера MN и переходе на работу в режиме накопления с короткими импульсами тока.

9.2.11.5 Измерения ВП с аппаратурой переменного тока могут быть более точными, чем в импульсном режиме, особенно в условиях помех. Однако всегда следует тщательно анализировать, есть ли возможность разделить поляризационные и индукционные эффекты при многочастотных наблюдениях.

9.2.12 При работах выбираются следующие режимы.

1) При исследованиях без линии «бесконечность» с зондами $A5MIN$ или $A40M20N$ индукционные эффекты сравнительно невелики и обычно сказываются только в рудных

зонах на временах до 10-15 мс после выключения тока. На малых временах после выключения тока (5-15 мс) наблюдается поляризация пород, связанная не столько с сульфидной вкрапленностью, сколько с самой средой. В этой области времен фоновые значения поляризации сравнительно велики и могут превышать значения поляризуемости, обусловленные сульфидной вкрапленностью, в несколько раз. Наиболее удобным временем начала фиксации поляризационных эффектов являются 20-30 мс после выключения тока.

2) Вполне достаточна длительность зарядки 5-10 с. В благоприятных условиях (сравнительно высокое удельное сопротивление разреза) можно переходить к непрерывной записи при временах зарядки 200-500 мс и получать практически те же результаты, что и при длительных зарядках. При работах в модификации «скважина-поверхность», вертикального профиля ВП и «скважина-скважина» сказываются значительные индукционные эффекты, заметные и через 100-200 мс после выключения тока. В этих условиях лучше всего использовать режим разнополярных импульсов с длительностью зарядки 5-10 с. Только при сравнительно большом удельном сопротивлении среды для измерений можно использовать длительности зарядки 250-500 мс с измерением через 20-30 мс после выключения тока.

9.2.13 Раскладка измерительных линий на поверхности и длинной линии «бесконечность» осуществляется так же, как и при наземных работах методом ВП. Подготовка станции к работе на скважине проводится по правилам, использованным при каротаже. Заземление в скважину рекомендуется опускать на проводе типа ГПСМП. В качестве скважинных заземлителей используются железные стержни, прикрепленные к проводу. При заземлении на обсадную трубу она оборачивается несколькими витками оголенного провода.

9.2.14 Работы с параметрической установкой выполняются при поточечной записи с шагом, равным расстоянию между питающим и ближайшим приемным электродом (2,5-5 м). Более частый шаг не дает дополнительной информации. Если необходимо получить аномалии от небольших прослоев, следует использовать установки для непрерывной записи ВП или проводить детализацию с зондом *AIM0.1N* и шагом 20-30 см. По тем же соображениям информативности исследования с установкой вертикального профиля и комбинированного профилирования ВП проводят с шагом 10 м, вдвое большим, чем длина *MN*. Меньшее значение *MN* ухудшает условия измерений и обычно не нужно, так как в околоскважинном пространстве ведутся поиски объектов, размер которых значительно превышает 20 м.

Работы в модификации «скважина-поверхность» ведутся с шагом, равным *MN*. Длина профиля зависит от интенсивности измеряемых сигналов и аномального эффекта. Когда его нет, значения поляризуемости, измеренные при положении электрода в устье и забое скважины, начинают совпадать на расстоянии 100-150 м для мелких скважин и 150-300 м для скважин более глубоких.

9.2.15 Полевая документация при скважинных наблюдениях аналогична документации, оформляемой при наземных работах методом ВП. Обычно при проведении измерений с помощью аналоговой аппаратуры пользуются теми же журналами, что и при наземной съемке, вписывая вместо номера профиля номер скважины и положение питающих и приемных электродов. Качество работ проверяется путем повторных наблюдений (проводятся в тот же день, можно при равной силе тока). Число повторных наблюдений должно составлять от 5 до 25 % объема основных работ. При работах в модификации «скважина-поверхность», когда выполняется большой объем наблюдений и по профилю измерения проводятся несколько раз, достаточно бывает 5-10 % таких наблюдений от общего объема работ. При исследованиях с установками вертикального профиля в неглубоких скважинах, где измеряется в основном ходе 7-8 точек, объем повторных наблюдений составляет 25 %. Измерения с параметрической установкой и установкой вертикального профиля в глубоких скважинах вполне достаточно

сопровождать повторными наблюдениями в объеме 10-20 %. Независимые контрольные наблюдения (в другой день или с другой станцией) должны проводиться комплексно по всем видам исследований ВП на каждой 20-й - 25-й скважине. Требования повторяемости (сходимости) измерений те же самые, что и при наземной съемке ВП.

9.2.16 Во всех видах работ по методу ВП основным документом является журнал полевых наблюдений, а при использовании современной цифровой аппаратуры, кроме того, еще и электронные файлы. Все дополнительные сведения о стоянках питающих электродов и о положении линии *MN* даются в графе «Примечание», либо заносятся в электронные файлы. В соответствии с общими геофизическими правилами в каждом отряде ведется дневник, в котором регистрируются получаемые задания и даются сведения об их выполнении.

9.2.17 В ходе камеральных работ завершается обработка полевых материалов, производится интерпретация полученных данных и составляется отчет. Вычисления погрешности измерений по материалам повторных и контрольных наблюдений, построение сводных планов и графиков по каждому участку и подготовка других отчетных документов производятся по общим правилам для всех видов работ методом ВП. Здесь рассмотрим лишь специфичные для скважинных работ приемы интерпретации.

Исходным критерием для выделения аномалий ВП при исследованиях с модификацией «скважина-поверхность» служит наличие изменения характера и интенсивности поляризуемости по профилю по мере перемещения источника тока с дневной поверхности вниз по скважине. Если поляризуемость невелика и не растет при погружении источника тока на забой скважины, значит, в призабойном пространстве, с учетом сделанных выше замечаний о глубинности скважинного варианта ВП, нет зон сульфидной минерализации. Если же поляризуемость, измеренная по профилю, велика при заземлении в обсадную трубу, но почти не меняется при погружении источника тока в скважину, значит, сульфидная минерализация распределена сравнительно равномерно в большем объеме в коренных породах. Наиболее интересны случаи, когда поляризуемость растет при погружении источника тока в скважину, особенно если при исследованиях с использованием соседних скважин такой эффект не наблюдался. Обычно это свидетельствует о наличии локального поляризующего объекта ниже забоя скважины. В некоторых случаях при погружении источника тока в скважину поляризуемость, измеренная по профилю, начинает уменьшаться. Как правило, это свидетельствует о том, что питающий электрод расположен или ниже зоны сульфидной минерализации в коре выветривания, или же ниже верхней кромки, а чаще всего ниже центра локального поляризующегося объекта.

Аналогичным образом путем изучения изменения характера кривых поляризуемости при перемещении источника тока интерпретируются результаты работ с азимутальной установкой. Здесь сравниваются графики поляризуемости, полученные при заземлении в обсадную трубу скважины и в точках на профиле. Аномалия поляризуемости максимальна в том случае, когда источник тока находится вблизи кромки хорошо поляризующегося объекта.

При работах с модификацией «поверхность-скважина» в качестве фоновой используется кажущаяся поляризуемость, измеренная в той же скважине с каротажным зондом. Если поляризуемость, измеренная с установкой вертикального профиля, больше, чем измеренная с каротажным зондом, это свидетельствует о наличии вблизи скважины непересеченного аномального объекта.

Чаще всего определения аномальной кажущейся поляризуемости недостаточно для оценки положения объекта в околоскважинном пространстве. Интерпретацию проводят в этих случаях по характерным особенностям кривых. Методика такой интерпретации изложена в методическом пособии.

9.2.18 Работы в модификации «скважина-поверхность» по системе профилей (8-10) разрешается проводить по сети, разбитой и закрепленной бригадой, выполняющей

основные наблюдения, при наличии системы GPS. Положение всех скважин, вдоль которых проходят профили измерений, должно быть отмечено в полевом журнале наблюдений. Бригада при этих работах снабжается радиостанцией. Систематическая погрешность разбивки топографической сети 1:5000.

9.2.19 В результате проведения полевых работ должны быть получены графики поляризуемости, кажущегося удельного сопротивления и $\Delta U/I$. Рекомендуется оформлять их в виде паспорта на каждую скважину. К окончательному отчету прилагаются все материалы исследований, оформленные как графики на проложениях скважин в схематических разрезах, на которые вынесены только рудные тела и поляризующиеся объекты. Все графики модификации «скважина-поверхность», принадлежащие одному профилю, выносятся на один разрез, но на разной высоте над линией профиля, так, чтобы они не перекрещивались. Результаты измерений в модификациях «скважина-поверхность» и «скважина-скважина» оформляются на отдельном чертеже, который является приложением к основному разрезу. Результаты работ в варианте ВП-С интерпретируются и описываются в отчете в общем разделе «Скважинные геофизические работы».

10 Камеральная обработка материалов и отчетность

10.1 Камеральная обработка материалов

10.1.1 Задачей камеральных работ является обработка и интерпретация геофизических материалов и составление отчета о результатах геофизических работ.

Камеральная обработка материалов производится камеральной группой(бюро).

Камеральной группе (бюро) сдаются электронные файлы, полевые журналы, журналы полевой обработки, полевая графика (графики наблюденных величин, предварительные карты, разрезы, схемы), оформленная согласно требованиям настоящего ТКП, топографо-геодезические и другие материалы. В камеральной группе (бюро) проверяют на выборку вычисления (5-10 %), полностью производят повторную обработку электронных файлов, уточняют или вычерчивают заново карты графиков, кривые зондирования и другие графики, составляют сводные карты графиков, изолиний и т. д., осуществляют их анализ и геологическую интерпретацию.

10.1.2 Во всех случаях, допускающих количественную интерпретацию геофизических данных, производится количественная оценка глубины, элементов залегания и размеров изучаемых объектов.

Количественную интерпретацию выполняют при помощи теоретических и экспериментальных палеток или упрощенных способов с использованием данных по электрическим и магнитным свойствам горных пород и руд, получаемых на основании как специальных параметрических измерений, так и анализа полевого материала, а также геологических данных (колонки буровых скважин, разрезы и др.), результатов анализа электрокаротажа скважин. Целесообразно использовать данные математического и физического моделирования.

При всех количественных оценках необходимо учитывать влияние таких осложняющих факторов, как неоднородность и анизотропия пород, рельеф и др.

Для обработки и интерпретации электроразведочных данных рекомендуется использовать разработанные для ПЭВМ программы.

10.1.3 Карты графиков сопоставляют с геологическими и топографическими картами и данными других геофизических методов. На основании совместного рассмотрения всех материалов производят корреляцию кривых по профилям и строят структурно-корреляционные карты. Данные полевых наблюдений увязывают с результатами параметрических наблюдений, каротажа, материалами изучения физических свойств и сопоставляют с геологическим разрезом. Выявляют аномальные зоны и устанавливают их геологическую природу.

Результаты камеральной обработки представляются в виде соответствующих геофизических карт, структурных карт и разрезов опорных горизонтов, карт основных результатов работ (перспективных аномалий, структур), уточненных геологических карт и т. д.

Геофизические материалы должны быть целиком использованы для геологических выводов.

10.1.4 В результате камеральной обработки по каждому участку (району) должны быть представлены следующие материалы:

1) обзорная карта, в которой указывают положение исследуемого участка (участков) по отношению к известным пунктам;

2) схема участка работ на геологической карте мелкого масштаба с топографической основой, на которой показывают контуры участка, положение магистрали, дают нумерацию профилей (через 5—10 профилей) и нумерацию крайних точек;

3) план геофизических работ в масштабе съемки (или на разряд крупнее) с нанесением координатной сетки магистрали, всех профилей и точек наблюдений па них (с нумерацией всех профилей и оцифровкой пятых или десятых точек наблюдений по каждому профилю), скважин и горных выработок. Для участков детальных работ, проведенных на площади общей съемки, составляют планы в более крупном масштабе;

4) геологическая и топографическая карты участка работ в масштабе съемки или наиболее близком к нему. На картах должны быть указаны масштаб, автор, источник и время составления. Для участков детальных работ геологические и топографические карты представляют в масштабе детальных съемок (или наиболее близком к нему). Геологические карты сопровождаются геологическими разрезами, легендой, колонками по скважинам и соответствующими описаниями;

5) карты графиков в единообразном оформлении (в одинаковом масштабе расстояний по профилям, с одинаковым расстоянием между соответствующими профилями, в стандартных масштабах для измеряемых величин). Расстояние между точками на графиках дается в приложении в масштабе съемки (или на разряд крупнее — в соответствии с планом). На одних и тех же листах (и профилях) рекомендуется помещать данные различных методов (или различные кривые, полученные при применении одного метода), если это не затрудняет чтение кривых. На картах графиков под горизонтальной осью каждого профиля приводятся кривые рельефа.

В случае представления результатов работ по различным методам на нескольких картах профилей рельеф вычерчивают лишь на одной из них. Вертикальный масштаб при нанесении рельефа должен соответствовать горизонтальному масштабу по профилям или увеличиваться по сравнению с ним в целое число раз.

При работе по методу зондирования представляют кривые зондирования в электронной форме (оформляют таким образом, чтобы во время работы кривые ВЭЗ, ЗС, МТЗ и другие легко можно было взять для сопоставления в требуемом порядке);

6) карты графиков участков детальной съемки более крупного масштаба (соответствующего масштабу плана детальных работ);

7) карты изолиний в масштабе съемки или в каком-либо другом масштабе, если окажется целесообразным их составление наряду с картами графиков;

8) при работе по методу зондирования — карты типов кривых, карты качественной интерпретации кривых ВЭЗ, ЗС и других модификаций зондирования, а также карты проводимости, удельного сопротивления надопорных горизонтов и т. д.;

9) карта результатов работ в масштабе съемки, на которую наносят аномальные зоны или оси, структурные линии, границы пород, выделяемые по геофизическим данным и т. д. При работе по методу зондирования представляют разрезы и карты изогипс опорных горизонтов. На картах отмечают все закрепленные на местности точки, а также указывают местоположение точек, в которых рекомендуется проведение горных работ и скважин для проверки результатов геофизических работ;

ТКП 17.04-40-2012

- 10) карты геофизической изученности;
- 11) карты геологической изученности;
- 12) план топографического обеспечения.

Все документы подписываются исполнителями работ и начальником партии. На плане геофизических работ и на карте результатов работ обязательно должна быть подпись топографа.

Все материалы по каждому участку нумеруют, сосредоточивают в одном месте (в нумерованных папках и тубусах) и снабжают описью.

10.1.5 Кроме перечисленных документов, которые в зависимости от размеров чертежей идут в приложения или в текст, в процессе камеральной обработки подготавливается следующий иллюстративный графический материал для текста отчета:

1) графики (по методам профилирования, естественного поля и др.) над известными геологическими объектами вместе с геологическими разрезами и данными других методов;

2) характерные (типичные) и параметрические кривые зондирования и соответствующие им геологические разрезы;

3) результаты контрольных измерений в виде графиков или кривых повторных и контрольных наблюдений, вычерченных в одной координатной системе;

4) скважинные и каротажные диаграммы;

5) сводные таблицы и графики, характеризующие электрические свойства пород и руд.

При наличии материалов по другим геофизическим или геохимическим методам, например, в случае комплексных работ, приводятся графические материалы по этим методам в той мере, в какой они могут быть использованы при анализе результатов электроразведочных работ.

Рекомендуется помещать в отчете также фотографии характерных участков работ, зарисовки обнажений, схемы новых установок и другие рисунки, иллюстрирующие обстановку и методику работ.

Весь иллюстративный материал по мере возможности представляется в отчет в компьютерном виде.

10.1.6 В результате камеральной обработки материалов выделяются участки и аномалии для детализации полученных данных и проверки их другими геофизическими методами и горными работами и намечаются места заложения буровых скважин.

10.1.7 Камеральные, как и полевые, работы электроразведочной партии ведутся в тесном контакте со всеми другими геофизическими и геологическими партиями, работающими в данном районе, а в отдельных случаях применения скважинных методов — по единому графику с партиями, выполняющими буровые работы.

10.2 Отчетность

10.2.1 Окончательный отчет о результатах электроразведочных работах должен оформляться в соответствии с [15].

10.2.2 Перечень и содержание графических приложений определяются требованиями действующих технических нормативных правовых актов, а при отсутствии таковых — заказчиком и ответственным исполнителем работ.

Формат отдельного листа графического приложения определяет исполнитель, он не должен превышать 700x700 мм. Количество листов графических приложений в одной папке должно быть не более 50.

Графические приложения помещают в папки размером 210x300 мм, толщиной не более 80 мм.

10.2.3 Графические приложения (карты профилей, изолиний, результатов работ и др.) выполняют на кальке в контурно-штриховом исполнении черной тушью, полиграфическим способом, либо с помощью компьютерных устройств.

**Приложение А
(рекомендуемое)**

**Ориентировочные сведения по масштабам
и расстояниям между точками наблюдений**

Масштаб съемки	Категория масштаба	Расстояние между профилями, * м	Интервалы расстояний между точками наблюдений, м
1:100000	Средний	1000	100-200
1:50000	Крупный	500	50-100
1:25000	-"-	250	25-50
1:10000	Детальный	100	10-40
1:5000	-"-	50	5-20
1:2000	-"-	20	2.5-10

Примечание - Допускается включать расстояние 200 и 25 м, поскольку при проведении комплексных геофизических и геохимических работ масштаба 1:10 000 (при общей сети пунктов 100x25 м) электроразведочные работы методами ВП, ВЭЗ, МПП выполняются, например по сети 200x50 м (ВП), 200x50 ÷ 100 м (ВЭЗ), 200x200 ÷ 100 м (МПП) и т.д.

**Приложение Б
(рекомендуемое)**

Форма дневника электроразведочной партии (отряда)

Наименование учреждения _____ отряд _____ партия _____ экспедиция _____

_____ 20____ г.
(месяц)

Начальник отряда _____
(Фамилия, Имя, Отчество)

Метод _____
(название)

Дата	Бригада, фамилия оператора	Вид транспорта	Категория местности, условия передвижения	Погода	Сеть наблюдений	Дневная норма в физических точках	Выполнение физических точек		Принято		Выполнение дневного задания, %
							всего	в том числе забраковано	Физических точек	условных точек	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

**Приложение В
(обязательное)**

Общая форма титульного листа и оглавления журнала

Наименование учреждения _____

(Наименование юридического лица)

партия № _____

Журнал по методу _____

№ _____

Тип и заводской номер прибора _____

Начат _____

Закончен _____

Начальник партии _____

Начальник отряда _____

Оператор _____

Вычислитель _____

В случае утери нашедшего журнал просят вернуть за вознаграждение по адресу:

ОГЛАВЛЕНИЕ ЖУРНАЛА

№ п/п	Дата	Участок (месторождение)	ПК	Число физических точек	Страница	Примечание
1	2	3	4	5	6	7

Примечание - Допускается на 4-й странице обложки журнала изложить основные требования к заполнению журнала, перечислив, в какой графе что следует записывать в соответствии с требованиями настоящей инструкции и конкретной методикой работ партии (отряда). Для лучшей сохранности журналов рекомендуется использовать полиэтиленовые обложки и полиэтиленовые пакеты.

**Приложение Г
(рекомендуемое)**

**Форма журнала для полевых наблюдений методом естественного поля
(работа в модификации потенциала)**

Профиль _____
Азимут _____ Дата _____

Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____

Участок _____ Начало наблюдений _____
Конец наблюдений _____

Тип и заводской № прибора _____ Положение электрода _____

Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____

Шаг наблюдений, м _____ Питание и градуировка нормальные _____

1

№ п/п	Точка стояния электрода <i>M</i>	<i>U</i> , мВ	$\Delta \bar{U}$, мВ	<i>U</i> ₀ , мВ	Примечание
1	2	3	4	5	6
					Абрис и положение исходной точки
Примечание – Допускается введение графы «Значения, исправленные за эдс электродов».					

Оператор: _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

Вычислитель: _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

Проверил: _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

¹ Здесь и ниже в формах журналов допускается введение граф для дополнительных сведений. При обработке на ПЭВМ форма записи в журнале определяется инструкцией по эксплуатации соответствующей автоматизированной системы

**Приложение Д
(рекомендуемое)**

Форма журнала для полевых наблюдений методом естественного поля (работа в модификации градиента потенциала)

Профиль _____ Азимут _____ Дата _____

Участок _____ Начало наблюдений _____

Конец наблюдений _____

Тип и заводской № прибора _____

Условия проведения измерений
(температура, влажность, давление) _____

№№ п/п	Точка стояния электрода <i>N/M</i>	$\Delta U, мВ$	$\Delta \bar{U}, мВ$	$\Delta U', мВ$	$\Delta U'', мВ$	$U, мВ$	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8
							Абрис

Оператор: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Вычислитель: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Проверил: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

**Приложение Е
(рекомендуемое)**

**Форма журнала для полевых наблюдений методом заряда
при работе в модификации градиента**

Профиль _____ Азимут _____ Дата _____

Участок _____ Начало наблюдений _____

Конец наблюдений _____

Условия проведения измерений
(температура, влажность, давление) _____

Электрод А _____

Электрод В _____

Напряжение источника питания, В _____

Шаг наблюдений, м _____

Тип и заводской № прибора _____

№№ п/п	Точки стояния электродов		ΔU , мВ	I , А	$\Delta U/I$, мВ/А	Приве- денное значение	Приме- чание
	М	Н					
1	2	3	4	5*	6	7	8

Оператор: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Вычислитель: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Проверил: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

**Приложение Ж
(рекомендуемое)**

**Форма журнала для полевых наблюдений методом заряда
при работе в модификации потенциала**

Профиль _____ Азимут _____ Дата _____

Участок _____ Начало наблюдений _____

Электрод *A* _____ Конец наблюдений _____

Электрод *B* _____ Условия проведения измерений
(температура, влажность, давление) _____

Электрод *N* _____ Напряжение источника питания, В

Шаг наблюдений _____ Тип и заводской № прибора _____

Точка стояния электрода <i>M</i>	<i>U</i> , мВ	<i>I</i> , А	<i>UI</i> , мВ/А	Исправленное значение <i>UI ± ΔUI</i>	Примечание
1	2	3	4	5	6

Оператор: _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

Вычислитель: _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

Проверил: _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

**Приложение К
(рекомендуемое)**

**Форма журнала для полевых наблюдений
методом электропрофилирования ***

Участок _____ Дата _____

Профиль _____ Начало наблюдений _____

Установка _____ Конец наблюдений _____

l_{AB} _____ l_{MN} _____ Тип и заводской № прибора _____

Шаг наблюдений, м _____ Модификация _____

Условия проведения измерений (температура, влажность, давление)

* Схема установки (на схематическом изображении установки указывается положение по отношению к профилям и странам света)

№ п/п	ПК	ΔU , мВ (мкВ)	I , мА (сА)	K ***	$\rho_{кз}$ Ом·м	Примечание
1	2	3	4	5	6	7

Примечания

1 При работе с цифровой станцией результат измерений представляется в виде электронных файлов, содержащих измеренные значения входного сигнала, силы тока в питающей цепи и значение кажущегося сопротивления на пикете.

2 В случае необходимости в графе 3 можно записывать следующие данные «Шкала», «Отсчет», « ΔU ».

3 В случае применения установки с постоянным коэффициентом K последний записывается в заголовке формы.

Оператор: _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

Вычислитель: _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

Проверил: _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

Приложение Л
(рекомендуемое)

Форма журнала для наблюдений методом зондирования со стрелочным индикатором

Зондирование № _____ Азимут, град _____

Дата _____

Участок _____

Начало наблюдений _____

Профиль _____

Конец наблюдений _____

ПК центра *MN* _____

Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____

Тип и заводской № прибора _____

Номер измерения	$l_{AB/2}$	$MN/2$	K	$\Delta U, мВ$	$I, мВ$	$\rho_k, Ом \cdot м$	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8

Оператор: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Вычислитель: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Проверил: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

**Приложение М
(рекомендуемое)**

**Разносы питающих и приемных линий для симметричных
четырёхэлектродных установок вертикального электрического зондирования с
более частым шагом**

№ п/п	$l_{AB/2}$	$l_{MN/2}$	$K_{BЭЗ}$	№ п/п	$l_{AB/2}$	$l_{MN/2}$	$K_{BЭЗ}$
1	0,4	0,125	1,813	19	20	0,5	1 255
2	0,75	0,125	6,869	20	20	5	117,8
3	1,5	0,125	28,06	21	25	5	188,4
4	1,5	0,5	6,280	22	30	5	274,8
5	2,0	0,125	50,04	23	40	5	494,6
6	2,0	0,5	11,78	24	60	5	1 122
7	2,5	0,5	18,84	25	75	5	1 758
8	3,0	0,5	27,47	26	90	5	2 536
9	3,5	0,5	37,68	27	90	30	376,8
10	4,0	0,5	49,45	28	110	5	3 792
11	5,0	0,5	77,71	29	110	30	586,1
12	6,0	0,5	112,2	30	150	30	1 130
13	7,5	0,5	175,8	31	220	30	2 486
14	9,0	0,5	253,5	32	340	30	6 003
15	11	0,5	379,2	33	500	30	13 036
16	13	0,5	529,9	34	750	30	29 390
17	15	0,5	705,7	35	1000	30	52 286
18	15	5	62,80				

**Приложение Н
(рекомендуемое)**

**Формы полевых журналов для наблюдений методом
вызванной поляризации при работе со стрелочным прибором
(установка градиента)**

Участок _____ l_{AB} _____ l_{MN} _____ Шаг _____ Дата _____

Профиль _____ A _____ B _____ Начало работ _____

Установка _____ Напряжение в AB _____ Конец работ _____

Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____

Тип и заводской № прибора _____

1. При работе с длительными импульсами тока

№ п/п	ПК		I, A	t_3, C	$\Delta U_{np}, MB$	$\Delta U_{ВП}, MB,$ при различном $t_c,$ с (0,5-5-15-30-45-60)	$\Delta U_{ВП 0,5-60''}$	$\eta_{кз}, \%$	K, M	$\rho_{кз}, Ом \cdot м$	Примечание
	M	N									
1	2	3	4	5	6	7 ... 12	13	14	15	16	17

2. При работе с разнополярными импульсами тока

№ п/п	П		I, A	t_3, C	$\Delta U_{np}, MB$		$\Delta U_{np}, MB$	$\Delta U_{ВП}, MB$		$\Delta U_{ВП}, MB$	$\eta_{кз}, \%$	K, M	$\rho_{кз}, Ом \cdot м$	Примечание	
	K	N			AB	A		B	AB						BA
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	

Оператор: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Вычислитель: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Проверил: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

**Приложение П
(рекомендуемое)**

**Форма журнала для наблюдений методом вызванной поляризации
с измерением фазового сдвига (инфаз ВП) в одночастотном режиме ***

Участок _____ l_{AB} _____ l_{MN} _____ Дата _____
 Профиль _____ Местоположение электрода А _____ Начало наблюдений _____
 Установка _____ Местоположение электрода В _____ Конец наблюдений _____
 Тип и заводской № прибора _____ Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____

ПК	f , Гц	I_{AB} , А	U_{AB} , В	ΔU , мВ	Показания счетчика в режимах		$\Phi^{MN} = \Phi_K - \Phi_{II}$	Φ_0^{AB}	$\Phi_f = \Phi_{MN}^{AB} - \Phi_0^{AB}$	$\varphi_{zf} = \Phi_{zf} \cdot 0,169$, град. $\varphi = \Phi_f \cdot 0,056$;	K	$\rho_k = K \Delta U / I$, Ом·м	Время измерения
					6 «Измерение» (Φ_{II}),	7 «Калибровка» $\Phi(K)$							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Примечание – Φ^{MN} – фазовый сдвиг Φ_f в показаниях счетчика Φ_0^{AB} – фазовый сдвиг в линии АВ в показаниях счетчика в одночастотном режиме; K – геометрический коэффициент установки.

Оператор: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Вычислитель: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Проверил:

(подпись)

(Ф.И.О.)

**Приложение Р
(рекомендуемое)**

**Форма журнала для наблюдений методом вызванной поляризации
с измерением фазового сдвига (инфаз ВП) в двухчастотном режиме ***

Участок _____ I_{AB} _____ I_{MN} _____ Дата _____
 Профиль _____ Местоположение электрода А _____ Начало наблюдений _____
 Установка _____ Местоположение электрода В _____ Конец наблюдений _____
 Тип и заводской № прибора _____ Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____

К	П	f, Гц	I_{AB}, A	U_{AB}, B	$\Delta U, мВ$	Показания счетчика в режимах		$m_1 = \Phi_{и} - \Phi_{к}$	$\Phi_0 (f-3f)$	$m = m_1 \cdot \Phi_0$	град. $\varphi = (1,5m \cdot 0,056)$,	K	$\rho_k = K \Delta U / I, Ом \cdot м$	Время измерения
						($\Phi_{и}$), «Измерение»	($\Phi_{к}$), «Калибровка»							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	

Примечание – m_1 – фазовый сдвиг $\varphi (-3f)$ в показаниях счетчика; $\Phi_0 (-3f)$ – фазовый сдвиг в линии АВ в показаниях счетчика в двухчастотном режиме; K – геометрический коэффициент установки.

Оператор: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Вычислитель: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Проверил: _____

(подпись)

(Ф.И.О.)

**Приложение С
(рекомендуемое)**

**Форма полевого журнала для методов магнитотеллурического
профилирования (зондирования)**

Наименование учреждения _____

Партия № _____ Азимуты осей, град: x _____

y _____

Отряд № _____ Длины линий, км: E_x _____

Дата _____ E_y _____

Пункт № _____ Начало работы _____

Конец работы _____

Кроки пункта _____ Тип установки _____

Пункт № _____ Расположение _____

(адрес)

Тип и заводской № прибора _____

Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____

При записи и обработке на ПЭВМ форма журнала определяется инструкцией по эксплуатации соответствующей автоматизированной системы.

№ записи	Время окончания записи ч. мин.	Пределы измерения					Градуировка					Примечание
		E_x	E_y	H_x	H_y	H_z	E_x	E_y	H_x	H_y	H_z	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Оператор: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Вычислитель: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

Проверил: _____
(подпись)

_____ (Ф.И.О.)

**Приложение Т
(рекомендуемое)**

**Формы журнала для наблюдений методом
дипольного электромагнитного профилирования**

Дата _____ Участок _____ Профиль _____

Частота _____ Разнос, м _____

Погода _____ Прибор № _____

Методика установки рамок (нивелирование, взаимное визирование)

Тип и заводской № прибора _____

Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____

1.С вычислением аномалий $|H_z|/H_{z_0}$

№ п/п	ПК	U_{Hz}	φ_c , град.	β , град.	K_p	$U_{Hzp} = K_p U_{Hz}$	$\frac{ H_z }{H_{z_0}} = \frac{U_{Hz}}{U_{Hz_0}}$	$\varphi_a = \varphi_c - \varphi_0$, град.	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
									$U_n =$ $U_{o.c} =$ $U_{Hz_0} =$ $\varphi_0 =$ $I =$ Абрис

2.С вычислением $\tilde{\rho}$

№ п/п	ПК	U_{Hz}	U_{Hr}	$\frac{U_{Hz}}{U_{Hr}}$	β , град.	K_p	$\frac{ H_z }{H_r} = K_p \frac{U_{Hz}}{U_{Hr}}$	$\tilde{\rho}$	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
									$U_n =$ $I =$ Абрис

Оператор: _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

Вычислитель: _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

Проверил: _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

**Приложение У
(рекомендуемое)**

**Форма полевого журнала для наблюдений полуосей эллипса
поляризации методом дипольного электромагнитного профилирования**

Дата _____ Участок _____ Профиль _____

Установка _____ Частота _____ Разнос, м _____

Тип и заводской № прибора _____

Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____

№ п/п	ПК	a	b	b/a_0	$\tilde{\sigma}$	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
						$a_0=$ Рельеф

Оператор: _____
(подпись) _____ (Ф.И.О.)

Вычислитель: _____
(подпись) _____ (Ф.И.О.)

Проверил: _____
(подпись) _____ (Ф.И.О.)

**Приложение Ф
(рекомендуемое)**

**Форма полевого журнала для наблюдений
методом переходных процессов
в однопетлевом варианте**

Участок _____ Дата _____
 Уровень помех \pm , мкВ _____ Петля № _____
 Сопротивление утечки, МОм _____ Размер петли $2l$, м _____
 Генератор-земля _____ Положение петли _____
 Измеритель-земля _____ Профили № _____
 Генератор-измеритель _____ ПК № _____
 Тип и заводской № прибора _____
 Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____

t , мс	I , А	U_a , мкВ	U_b , мкВ	U , мкВ	σ , %	U/I , мкВ/А	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8

Оператор: _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)
 Вычислитель: _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)
 Проверил: _____ (подпись) _____ (Ф.И.О.)

**Приложение X
(рекомендуемое)**

**Форма полевого журнала для обработки наблюдений
методом переходных процессов**

Участок _____

Дата _____

Петля № _____ Уровень помех \pm , мкВ _____

Половина размера петли l , м _____ Сила тока в петле I_{cp} , А _____

Тип и заводской № прибора _____

Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____

t , мс	U/I , мкВ/А	$Ut/(I \cdot l)$, (мкВ*мс)/(А*м)	τ_k	σ_k , См/м	Примечание
1	2	3	4	5	6

S , См _____

σ_2 , См/м _____

Оператор: _____
(подпись) _____ (Ф.И.О.)

Вычислитель: _____
(подпись) _____ (Ф.И.О.)

Проверил: _____
(подпись) _____ (Ф.И.О.)

Приложение Ц
(рекомендуемое)

Форма полевого журнала для наблюдений на одном времени задержки методом переходных процессов в рамочно-петлевом варианте *

Дата _____

Участок _____ Петля № _____

Время задержки t_{np} , мс ---- _____

Эффективная площадь приемной рамки S_n , м² _____

Тип и заводской № прибора _____

Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____
Размеры и расположение петли:

Оператор: _____ (ф.и.о.)

Вычислитель: _____ (подпись) _____ (ф.и.о.)

Номер профиля	ПК	U_z , мкВ	U_x , мкВ	I , А	U_z/IS_n , мкВ/(А*м')	U_x/IS_n , мкВ/(Ам ²)	Уровень помех, мкВ	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Проверил: _____ (подпись) _____ (ф.и.о.)

**Приложение Ш
(рекомендуемое)**

**Форма полевого журнала для наблюдений переходных характеристик
методом переходных процессов в рамочно-петлевом варианте ***

Дата _____

Участок _____ Петля № _____

Профиль _____ Пикет № _____.

Уровень помех ±, мкВ _____

Тип и заводской № прибора _____

Условия проведения измерений (температура, влажность, давление) _____

Размеры и расположение петли:

Пр Сигнала вводят дополнительные графы.			Примечание
			5
			их неустановившегося

Оператор: _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

Вычислитель: _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

Проверил: _____
(подпись)

(Ф.И.О.)

Библиография

- [1] Кодекс Республики Беларусь о недрах от 14 июля 2008 г. № 406-3
- [2] Электроразведка: справочник геофизика в двух книгах / Под ред. В.К.Хмелевского, В.М.Бондаренко. М.: Недра, 1989
- [3] Электрическое зондирование геологической среды в двух частях / Под ред. Хмелевского В.К., Шевнина В.А./ М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988.1992
- [4] Матвеев. Б.К. Электроразведка: Учеб. 2 изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1990
- [5] Жданов М. С. Электроразведка: Учеб. М.: Недра
- [6] Хмелевской В.К. Электроразведка: Учеб. Пособие. 2 изд. перераб. и доп. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1984
- [7] Якубовский Ю.В., Ю.В., Ренард И.В. Электроразведка. 4 изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1991
- [8] Измерение электрических и магнитных составляющих напряженности поля в методе заряда: Методические рекомендации/ Под ред. Кормильцева В.В. Свердловск: Изд. УНЦ АН СССР, 1984
- [9] Инструкция о порядке разработки, согласования и утверждения проектной документации на пользование недрами.
Утверждена постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 20 февраля 2009 г. № 6/8
- [10] Егоров М. Н. и др. Метод заряда с изменением магнитного поля при поиске и разведке рудных месторождений: Методическое пособие Л.: Недра, 1983
- [11] Вешев А. В. Электропрофилирование на постоянном и переменном токе Л.: Недра, 1980
- [12] Поляков А. С. Методическое руководство по электропрофилированию Л.: Недра, 1969
- [13] Электропрофилирование с незаземленными рабочими линиями Л.: Недра, 1985
- [14] Комаров В. А. Электроразведка методом вызванной поляризации Л.: Недра, 1980
- [15] Инструкция о порядке составления отчетов о геологическом изучении недр. Утверждена постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 14 мая 2007г. № 58
- [16] Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред М.: Недра, 1992
- [17] Семенов Ю.В. Обработка данных магнитотеллурического зондирования М.:Недра, 1985
- [18] Сидоров В.А. Импульсная индуктивная разведка М.: Недра, 1985
- [19] Методические рекомендации по анализу зондирований становлением поля в ближней зоне в горизонтально неоднородных средах Новосибирск: СНИИГИМС, 1983
- [20] Руководство по применению метода переходных процессов в рудной геофизике/ Под редакцией Каменецкого Ф. М. Л.: Недра, 1976
- [21] Захаров В.Х. Электроразведка методом дипольного индуктивного профилирования Л.: Недра, 1975