

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

*Пионерам-разработчикам
высокочастотных
электромагнитных методов
А.В. Вешеву, А.Д. Петровскому,
Г.Ф. Игнатьеву, В.Ф. Лебедеву
посвящается*

В.И. Иголкин, Г.Я. Шайдуров, О.А. Тронин, М.Ф. Хохлов

МЕТОДЫ И АППАРАТУРА ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Научное издание

Под редакцией заслуженного деятеля науки и техники РФ,
доктора технических наук, профессора *Г.Я. Шайдурова*

Красноярск
СФУ
2016

УДК 550.837
ББК 26.324
М545

Рецензенты:

Р.Е. Тойб, кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор АО «ГеоИнТех»;

В.М. Владимиров, доктор технических наук, профессор, заместитель председателя КНЦ СО РАН

М545 **Методы и аппаратура электроразведки на переменном токе :**
научное издание / В.И. Иголкин, Г.Я. Шайдуров, О.А. Тронин,
М.Ф. Хохлов. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 272 с.
ISBN 978-5-7638-3554-0

Изложены вопросы теории электромагнитного поля, приведено описание аппаратуры электромагнитных методов с использованием переменного гармонического тока в диапазоне частот $312,5\text{--}2250 \cdot 10^3$ Гц, рассмотрен принцип её действия, технические и методические характеристики. Освещена технология работ с этой аппаратурой, рассмотрены вопросы обработки полученных материалов исследования аппаратурой электромагнитных методов, дано их геологическое истолкование с большим количеством примеров.

Предназначено для научных работников в области геофизики, геологии и гидрогеологии, горного дела, мерзлотоведения, мелиорации, а также может быть использовано аспирантами и студентами геофизического профиля и специалистами, профессионально занимающимися поисками и разведкой полезных ископаемых и изучением геологических условий для строительства, горнодобычных работ, водоснабжения, геокриологии и мелиорации, решением вопросов экологии и археологии, в том числе в районах развития многолетней мерзлоты.

Электронный вариант издания см.:
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 550.837
ББК 26.324

ISBN 978-5-7638-3554-0

© Сибирский федеральный
университет, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ	7
ПРЕДИСЛОВИЕ	9
ВВЕДЕНИЕ	13
Глава 1	
ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ.....	18
1.1. Электрофизика горных пород верхней части разреза.....	18
1.1.1. Вещественные и электрофизические характеристики горных пород	18
1.1.2. Электрофизические процессы в геологической среде.....	33
1.2. Распространение электромагнитного поля в геологической среде. Геометрический аспект.....	40
1.2.1. Ближняя и дальняя зоны	40
1.2.2. Эллиптическая поляризация поля.....	41
1.2.3. Электрические и магнитные числа.....	47
1.3. Структура электромагнитного поля.....	48
1.3.1. Вертикальный магнитный диполь.....	48
1.3.2. Длинный кабель.....	51
1.3.3. Поле заряда.....	54
1.4. Характеристики электромагнитного поля в геологической среде. Электромагнитный коэффициент ЭМк.....	57
<i>Список использованной литературы к главе 1</i>	62
Глава 2	
АППАРАТУРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕТОДОВ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ	65
2.1. Низкочастотная аппаратура КАН-ЭММ.....	68
2.2. Комплекс среднечастотной (КАС-ЭММ) и высокочастотной (КАВ-ЭММ) аппаратуры электромагнитных методов.....	70
2.3. Устройство и принцип работы аппаратуры КАС-ЭММ.....	71
2.3.1. Передающее устройство	71
2.3.2. Приемное устройство	72
2.4. Подготовка аппаратуры к работе	74
2.5. Методические возможности разных комплексов аппаратуры ЭММ.....	75
2.5.1. Определение комплекса аппаратуры для выполнения электроразведочных методов	75
2.5.2. Методические преимущества аппаратуры ЭММ.....	75

Оглавление

2.6. Погрешности наблюдений	79
2.6.1. Аппаратурные источники погрешностей	80
2.6.2. Методические погрешности	82
<i>Список использованной литературы к главе 2</i>	86

Глава 3**МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ И МЕТОДИКА РАБОТ
С АППАРАТУРОЙ ЭММ**

3.1. Классификация методов	87
3.2. Физическая характеристика электромагнитных методов	89
3.3. Глубинность и разрешающая способность	92
3.4. Методика полевых работ	96
3.4.1. Общие положения методики ЭММ	96
3.4.2. Методика работ с измерительными установками различных электроразведочных методов	104
3.4.2.1. Метод дипольного электромагнитного профилирования	104
3.4.2.2. Метод электромагнитного зондирования с вертикальным магнитным диполем	106
3.4.2.3. Метод бесконечно длинного кабеля	108
3.4.2.4. Метод незаземлённой петли	112
3.4.2.5. Метод заряда	113
3.4.2.6. Методы исследования в одиночных горных выработках (<i>HyHy</i> , АПД, ВПР)	119
3.4.3. Методика работ в различных горнотехнических условиях	119
3.4.3.1. Методика работ на поверхности	120
3.4.3.2. Методика работ в условиях карьера, угольного разреза	122
3.4.3.3. Методика работ в подземных горных выработках	123
<i>Список использованной литературы к главе 3</i>	127

Глава 4**ОБРАБОТКА ДАННЫХ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ
ПОЛЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

4.1. Обработка данных полевых измерений составляющих магнитного поля	128
4.2. Определение эффективных электромагнитных параметров	128
4.3. Определение геометрических параметров геоэлектрического разреза	131
4.3.1. Интерпретация материалов метода ДЭМП	132
4.3.2. Интерпретация материалов метода ЭМЗ	135
4.3.2.1. Вводные понятия интерпретации ЭМЗ	136
4.3.2.2. Интерпретация кривых ЭМЗ по трёхслойным палеткам	138
4.3.3. Интерпретация материалов метода БДК	143
4.3.4. Интерпретация материалов метода НП	144
4.3.5. Интерпретация материалов метода МЗЭП и МЗМП	145
4.3.5.1. Учёт нормального поля питающей цепи	145
4.3.5.2. Интерпретация результатов наземных исследований	148
4.4. Определение физических параметров геологического разреза	149
4.4.1. Влияние ϵ пород на величину эффективного сопротивления	149

4.4.2. Разделение фрагментов разреза на проводники и изоляторы	149
<i>Список использованной литературы к главе 4</i>	150
Глава 5	
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ	
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕТОДОВ	
5.1. Вопросы геологической интерпретации	151
5.2. Петрофизические факторы формирования электромагнитного поля ...	154
5.3. Типы аномалий индуктивных методов по происхождению	159
5.4. Основные аномалеобразующие геологические объекты	160
5.4.1. Рудные тела.....	160
5.4.2. Залежи нерудных полезных ископаемых	163
5.4.3. Тектонические нарушения	165
5.4.4. Карстовые и трещинные зоны	166
5.4.5. Зоны обводнения	166
5.4.6. Зоны повышенной засоленности.....	167
5.4.7. Островная мерзлота и талики	168
5.4.8. Техногенные объекты.....	169
5.4.9. Формы дневного рельефа.....	170
5.5. Морфология аномалеобразующих объектов	171
5.6. Неоднородность геологической среды	172
5.7. Геоэлектрические модели среды.....	172
<i>Список использованной литературы к главе 5</i>	175
Глава 6	
ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	
ПРИМЕНЕНИЯ АППАРАТУРЫ ЭММ	
6.1. Решение задач геологического картирования	177
6.1.1. Геологическое картирование на участке Угдыри в Восточном Забайкалье ...	178
6.1.2. Геологическое картирование на Кувайском участке Восточного Саяна.....	180
6.1.3. Картирование интрузивных тел на золоторудном месторождении «Штоки» Магаданской области	182
6.1.4. Картирование рыхлых отложений при поисках перспективных участков на золото. Дюбкошский массив (Енисейский кряж)	183
6.2. Решение поисково-разведочных задач.....	185
6.2.1. Поисково-разведочные работы на металлические полезные ископаемые	186
6.2.1.1. Поисково-разведочные работы на золото.....	186
6.2.1.2. Поисково-разведочные работы на полиметаллы.....	197
6.2.1.3. Поисково-разведочные работы на хромиты	199
6.2.2. Поисково-разведочные работы на неметаллические полезные ископаемые.....	200
6.2.2.1. Поисково-разведочные задачи на алмазы.....	200
6.2.2.2. Поисково-разведочные работы на углеводороды.....	203
6.3. Решение задач действующих объектов горнодобывающей промышленности.....	205
6.3.1. Решение задач дражных полигонов.....	206

Оглавление

6.3.1.1. Картирование островной мерзлоты и таликов	207
6.3.1.2. Картирование подошвы плотика на месторождении россыпного золота р. Тюхтерек в Хакасии	210
6.3.2. Решение задач в карьерах твёрдых полезных ископаемых	211
6.3.2.1. Оконтуривание рудных тел в карьере меднорудного месторождения Саяк в Казахстане (ДЭМП)	212
6.3.2.2. Решение вопросов технологического картирования в карьерах железорудных месторождений	213
6.3.2.3. Картирование низкоомных зон ослабленных пород в карьере Мазульского месторождения (ДЭМП)	214
6.3.2.4. Картирование даек на Кайерканском угольном месторождении (ДЭМП, метод индукции)	216
6.3.2.5. Картирование элементов тектоники и качества сырья в Саяно-Партизанском угольном разрезе	216
6.3.3. Решение задач в подземных выработках	221
6.3.3.1. Обнаружение рудных тел из подземных горных выработок Норильского ГМК (ДЭМП)	221
6.3.3.2. Обнаружение рудных тел между подземными выработками Глафиринаского медного месторождения	222
6.3.3.3. Увязка рудных подсечений по скважинам подземного бурения на Белоусовском полиметаллическом месторождении в Рудном Алтае методом электрической корреляции	224
6.3.3.4. Выявление рудных тел в около- и междувыработочном пространстве в Рудном Алтае методами ДЭМП, АПД и РВП	226
6.3.3.5. Обнаружение золотосульфидных тел из подземной выработки и определение характера их залегания (АПД) в Артёмовском руднике (Восточный Саян)	229
6.4. Решение задач инженерной геологии, гидрогеологии и мелиорации ..	230
6.4.1. Общие сведения, цели и возможности задач инженерной геологии, гидрогеологии и мелиорации	230
6.4.2. Инженерно-геофизические работы	234
6.4.2.1. Исследование тектоники в зоне строительства Мотыгинского гидроузла на реке Ангаре (ДЭМП, БДК)	234
6.4.2.2. Изыскания в Имеретинской низменности для её инженерной защиты от процессов подтопления и абразии (ДЭМП, БДК)	236
6.4.2.3. Инженерные изыскания на участке строительства гидроузла водоснабжения Амазарского целлюлозного завода в Читинской области	240
6.4.2.4. Картирование таликовой зоны на хвостохранилище Мирнинского ГОКа ..	244
6.4.2.5. Выделение и картирование подруслового талика в долинах ручьев на участке Среднекан Магаданской области	244
6.4.2.6. Картирование зон тектонических нарушений в высокогорной части Саяно-Шушенского заповедника	245
6.4.3. Решение задач гидрогеологии и мелиорации	246
Список использованной литературы к главе 6	251
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	253
Приложение 1	255
Приложение 2	259
Приложение 3	260
Приложение 4	267