

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

Р е ц е н з е н т ы:

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 (H_yH_y , 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 |
| Список использованной литературы к главе 4..... | 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 |
| Список использованной литературы к главе 5..... | 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. Дюбошский массив (Енисейский край) | 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 Глафирина 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 |