

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА
Геологический факультет
Кафедра геофизических методов исследования земной коры

Авторы: д. г.-м. н. Куликов В.А.,
д. г.-м. н. Пушкарев П.Ю.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ГЛУБИННЫХ ЗАДАЧ

Учебное пособие по курсу лекций для студентов первого года магистратуры
кафедры геофизики геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Москва
2020 г.

УДК 550.837

ББК 26.2

Рецензенты:

Новиков П.В., к. т. н., доцент кафедры геофизики факультета геологии и геофизики нефти и газа МГРИ им. С. Орджоникидзе

Алексеев Д.А., к. ф.-м. н., ст. н. с. Лаборатории геофизических исследований Арктики и континентальных окраин Мирового океана Московского физико-технического института (МФТИ).

Авторы: д. г.-м. н., профессор **Куликов В.А.**,
д. г.-м. н., профессор **Пушкарев П.Ю.**

Электромагнитные зондирования при решении глубинных задач

Учебное пособие. – М.: МГУ, 2020. – 228 с.

В учебном пособии рассмотрены примеры применения глубинных электромагнитных зондирований при решении научных и поисковых задач, таких как: изучение верхней и средней мантии Земли (глава 2); изучение литосферы тектонических плит (главы 3, 4, 5); изучение тектоносферы активных зон (глава 6); изучение нефтегазоносных осадочных бассейнов (глава 7); изучение геотермальных ресурсов (глава 8) и др.

Приводится краткая характеристика электромагнитных зондирований с использованием естественных и искусственных источников.

При составлении курса лекций авторы активно использовали материалы собственных диссертаций, а также результаты, полученные компанией ООО «Северо-Запад» при непосредственном участии авторов курса.

Рекомендовано ученым советом Геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению «Геология»

ISBN 978-5-6042986-8-8

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский пр-т, д. 7, пом. II

Тел.: (4822) 55-16-76

E-mail: polypress@yandex.ru

www.poly-press.ru

Подписано в печать 00.06.2020

Заказ № 7588. Тираж 00 экз.

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	8
ГЛАВА 1. ЗАДАЧИ, МЕТОДЫ И ИСТОРИЯ ГЛУБИННЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	10
1.1. Решаемые задачи	10
1.2. Метод магнитотеллурического зондирования	11
1.3. Методы зондирования с искусственными источниками.....	17
1.4. Обобщенные результаты изучения коровых аномалий в СССР	22
1.5. Государственные программы исследования глубоких горизонтов земной коры.....	24
Список литературы к главе 1	26
ГЛАВА 2. МАГНИТОВАРИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАНТИИ ЗЕМЛИ	31
2.1. Краткая история развития метода ГМВЗ.....	31
2.2. Геомагнитные обсерватории	32
2.3. Спутниковые геомагнитные наблюдения.....	34
2.4. ГМВЗ способами пространственных производных и отношения компонент	35
2.5. Сводная кривая ГМТЗ-ГМВЗ по данным обсерваторий «Александровка» и «Москва».....	36
2.6. Электропроводность верхней мантии Центральной Европы (научный проект SEMES)	38
2.7. Глобальные исследования с помощью Dst-вариаций.....	40
2.8. Перспективы геоэлектрических исследований мантии Земли	42
Список литературы к главе 2	43
ГЛАВА 3. ГЛУБИННЫЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРАЛА.....	46
3.1. Геоэлектрические модели Урала до 2000 г.....	46
3.2. МТ-исследования по профилю «Уралсейс».	47

3.2.1. Геологическая история и тектоническое строение вдоль профиля «Уралсейс».....	48
3.2.2. Результаты сейсморазведки	50
3.2.3. Плотностная модель по профилю «Уралсейс».....	51
3.2.4. МТ-исследования на профиле «Уралсейс».....	52
3.3. МТ-исследования по профилю «Полярно-Уральский трансект».....	55
3.3.1. Положение профиля.....	56
3.3.2. Качественный анализ МТ-данных	56
3.3.3. Геоэлектрический разрез по профилю «Полярно-Уральский трансект».	62
Список литературы к главе 3	64

ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ МЕТОДОМ ГМТЗ НА ОПОРНЫХ ПРОФИЛЯХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА..... 66

4.1. Положение опорных геофизических профилей на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока.....	66
4.2. Результаты работ методом ГМТЗ на опорных профилях 1-СБ, 2-СБ, 3-СБ.....	68
4.2.1. Профиль 1-СБ.....	68
4.2.2. Профили 2-СБ и 3-СБ.....	73
4.2.3. Профиль 1-СБ Восточный.....	76
4.3. Результаты работ методом ГМТЗ на опорных профилях 2-ДВ, 3-ДВ, 8-ДВ.....	81
4.3.1. Профиль 3-ДВ.....	81
4.3.2. Профиль 2-ДВ.....	86
4.3.3. Профиль 8-ДВ.....	92
Список литературы к главе 4	93

ГЛАВА 5. КОРОВЫЕ ПРОВОДНИКИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ 94

5.1. Кировоградско-Барятинская аномалия электропроводности	94
5.1.1. Геоэлектрические исследования на Украинском щите.....	94
5.1.2. Работы по изучению Барятинской аномалии.....	95
5.1.3. Качественный анализ магнитотеллурических данных.....	97

5.1.4. Геоэлектрическая модель северной части ВКМ по результатам 3D-инверсии.....	101
5.1.5. Барятинская аномалия и шовные зоны Сарматии	101
5.1.6. Причины повышенной электропроводности в коре	105
5.2. Работы методом ГМТЗ в зоне сочленения Фенноскандии, Сарматии и Волгоуралии.....	108
5.2.1. Рабочая группа Smolensk.....	108
5.2.2. Профиль Ржев – Великие Луки.....	111
5.3. Ладожская аномалия электропроводности	115
5.3.1. История изучения	115
5.3.2. Работы группы «Ладога» (с 2013 г.).....	119
5.4. Коровая аномалия электропроводности кряжа Карпинского	123
Список литературы к главе 5	128
ГЛАВА 6. МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЗОН	132
6.1. Океанские рифтовые зоны	133
6.2. Зоны субдукции.....	135
6.3. Континентальные рифтовые зоны	138
6.4. Зоны коллизии	142
Список литературы к главе 6	147
ГЛАВА 7. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ ПРИ РЕШЕНИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ ЗАДАЧ.....	150
7.1. Введение.....	150
7.1.1. Плюсы и минусы глубинных индукционных методов электроразведки.....	151
7.1.2. Где электроразведка наиболее эффективна?	152
7.1.3. Задачи, решаемые электроразведочными методами в процессе поиска месторождений углеводородов.....	152
7.2. Изучение глубинного геологического строения района, потенциального на углеводороды	153

7.2.1. Глубинные исследования методом МТЗ на Таймыре	155
7.3. Изучение электрических свойств отдельных горизонтов осадочного чехла	156
7.3.1. Комплексные исследования на Таймыре	157
7.3.2. Исследования методом ЗСБ на Непско-Ботуобинской антеклизе	161
7.3.3. МТЗ в Тимано-Печорской нефтегазовой провинции	164
7.4. Изучение закрытых осадочных бассейнов	167
7.4.1. Изучение солевой тектоники и подсолевых структур	167
7.4.2. Погребенные осадочные бассейны	172
7.5. Аномалии повышенного электрического сопротивления под слоем многолетнемерзлых пород – новый поисковый признак залежей углеводородов	174
7.6. Применение метода ВП при оконтуривании нефтяных залежей	178
7.6.1. Месторождения Кенкияк и Кумсай (Казахстан)	179
7.6.2. Нефтяные месторождения Татарстана	181
7.6.3. Обобщение работ методом ВП на Украине	182
7.6.4. Опыт работ ООО «Северо-Запад» на территории Правобережья Саратовской области	183
7.6.5. Выводы по использованию метода ВП при решении нефтегазовых задач	185
Список литературы к главе 7	186
ГЛАВА 8. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ	187
8.1. Предпосылки применения электромагнитных зондирований	187
8.2. Геотермальная зона Лардерелло-Травале (Италия)	188
8.3. Геотермальная зона Хенгилл (Исландия)	191
8.4. Мутновское месторождение парогидротерм	196
8.5. Другие геотермальные зоны	197
8.6. Перспективы применения электромагнитных зондирований при изучении петротермальных ресурсов	203
Список литературы к главе 8	207

ГЛАВА 9. ВЛИЯНИЕ ГЛУБИННЫХ ПРОВОДЯЩИХ РАЗЛОМОВ НА МТ-ПОЛЕ	210
9.1. Нормализация МТ-поля в присутствии приповерхностных неоднородностей проводящими разломами.	210
9.2. Повышение чувствительности МТ-поля к глубинным неоднородностям в присутствии проводящих разломов.....	213
9.3. Роль проводящих разломов при поисках глубокозалегающих рудных тел	217
9.3.1. Двумерное моделирование	218
9.3.2. Трехмерное моделирование	221
Список литературы к главе 9	227
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	228

Предисловие

Эта книга представляет собой учебное пособие по курсу «Электромагнитные зондирования при решении глубинных задач», читаемому авторами с 2015 г. на кафедре геофизических методов исследования земной коры геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Курс читается в первом семестре в рамках магистерской программы «Малоглубинная и глубинная геофизика». Как правило, слушатели обладают знаниями на уровне бакалавриата и освоили общепрофессиональные дисциплины «Общая геология», «Геотектоника», «Физика Земли», «Геодинамика», «Геология полезных ископаемых», «Геология и геохимия нефти и газа», а также профессиональные дисциплины «Электроразведка», «Теория геофизических полей», «Некорректные задачи геофизики», «Комплексирование геофизических методов», «Интерпретация данных электроразведки», «Геотермия и петротермальная геофизика», «Геофизика твердых полезных ископаемых».

Однако авторы старались представлять материал максимально доступно, чтобы учебное пособие было понятным и интересным для широкого круга читателей, включая специалистов в различных вопросах геологии, геофизики и прикладной математики.

Необходимо пояснить, что термин «глубинные задачи» мы понимаем в широком смысле, в соответствии с принятыми на нашей кафедре традициями разделять геофизику на малоглубинную (near-surface) и глубинную. Первая решает весьма широкий круг задач, связанный с изучением геологической среды до глубин порядка 100 м. Соответственно, к глубинным мы относим как фундаментальные задачи изучения глубоких горизонтов земной коры и мантии Земли, так и прикладные задачи исследования нефтегазоносных бассейнов, геотермальных ресурсов, твердых полезных ископаемых.

Кроме того, следует пояснить, что в курсе подробно не рассматриваются вопросы методики электромагнитных зондирований, их комплексирования с другими методами, а также применения в океанах и морях. Этим проблемам посвящены отдельные дисциплины магистерской программы: «Теория электромагнитных зондирований», «Электроразведка неоднородных и анизотропных сред», «Прямые и обратные задачи магнитотеллурики», «Геологическая интерпретация данных электроразведки», «Комплексный

анализ и интерпретация геолого-геофизических данных», «Электроразведка на морских и пресноводных акваториях».

Главы 3, 4, 5, 7, 9 написаны В.А. Куликовым, главы 2, 6, 8 написаны П.Ю. Пушкаревым, глава 1 – совместно. Замечания и пожелания просим направлять на e-mail: vic@nw-geophysics.ru и pavel_pushkarev@list.ru.