

**Московский Государственный Университет
имени М.В. Ломоносова**

Геологический факультет

Кафедра геофизических методов исследования земной коры

Модин И.Н., Пушкарев П.Ю.

**ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА НА МОРСКИХ
И ПРЕСНОВОДНЫХ АКВАТОРИЯХ**

Учебник

Москва

ПолиПРЕСС

2024

УДК 550.837

ББК 26.2

*Рекомендовано УМС геологического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по направлению «Геология»*

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Агеев В.В., к.ф.-м.н., г.н.с., зав. лаб. взаимодействия электромагнитных полей и геологической среды ЦГЭМИ ИФЗ РАН им. О.Ю. Шмидта

Пальшин Н.А., к.г.-м.н., в.н.с. лаборатории геофизических полей Института океанологии РАН им. П.П. Ширшова

Модин И.Н., Пушкарев П.Ю. Электроразведка на морских и пресноводных акваториях. Учебник. Москва, ПолиПРЕСС, 2024. 425 с.

Книга посвящена особенностям проведения малоглубинных и глубинных электроразведочных исследований на пресноводных и морских акваториях. Рассматриваются методы постоянного тока, в том числе в модификациях электротомографии и непрерывных акваторных зондирований, методы индукционных зондирований становлением поля, георадиолокации, естественного поля и вызванной поляризации, применяемые для решения различных геологических, инженерно-геологических и геотехнических задач. Далее описываются морские модификации методов зондирований становлением поля и дистанционных электромагнитных зондирований с гальваническим возбуждением, а также метода донных магнитотеллурических зондирований, используемых в нефтегазовых и глубинных исследованиях.

Книга предназначена для магистрантов и студентов старших курсов, а также аспирантов, специалистов и преподавателей, занимающихся вопросами применения геофизических методов для решения геологических задач на реках, озёрах, морях и океанах.

ISBN 978-5-6051693-7-6

© Модин И.Н., Пушкарев П.Ю., 2024

© ООО «ПолиПРЕСС», 2024

Оглавление

Предисловие	8
Часть I. Методы электроразведки и малоглубинной геофизики на пресноводных акваториях	9
Введение	9
Глава 1. Особенности применения геофизических методов на пресноводных акваториях	14
1.1. Задачи, решаемые на пресноводных акваториях	17
1.2. Преимущества геофизических методов при работе на реках	18
Глава 2. Методы постоянного тока	21
2.1. Вертикальные электрические зондирования	21
2.2. Электротомография	37
2.3. Непрерывные электрические зондирования	50
2.4. Электрическая томография с донной косой	59
2.5. Зондирования с вертикальной установкой	63
2.6. Метод естественного поля	67
Глава 3. Метод становления поля в ближней зоне	84
Глава 4. Георадиолокация	95
Глава 5. Комплексирование с другими геофизическими методами	105
5.1. Метод вызванной поляризации	105
5.2. Сейсмоакустика на мелководных акваториях	112
5.3. Магнитная разведка	121
Часть II. Примеры геофизических работ на пресноводных акваториях	136
Глава 6. Электрометрические исследования на реке Москве	136
6.1. Проблема изучения карстово-суффозионных процессов на территории г. Москвы и задачи, стоящие перед речными геофизическими исследованиями	136
6.2. Геолого-геофизические условия применимости электрических зондирований на р. Москва	140
6.3. Результаты геофизических исследований на реке Москва	149

6.4. Комплексная обработка геофизических данных	162
Выводы к главе 6.....	165
Глава 7. Комплексные геофизические исследования на Нижней Волге	167
7.1. Региональные исследования на участке между Волгоградом и Каменным Яром	168
7.2. Результаты геофизических исследований в районе Саралевского водного узла.....	171
Выводы к главе 7.....	174
Глава 8. Акваторные электроразведочные исследования в Восточной Германии	175
8.1. Результаты работ на озере Катарины	179
8.2. Результаты работ на канале Катарины	181
8.3. Результаты работ на канале Одер- Шпрее	183
Заключение к частям I и II	186
Список литературы к частям I и II	187
Часть III. Методы морской нефтегазовой электроразведки	194
Глава 9. Общие сведения о морской электроразведке.....	196
9.1. Основы теории низкочастотного электромагнитного поля	196
9.2. Зондирования импульсным и гармоническим полем	197
9.3. Ближняя и дальняя зоны источника.....	198
9.4. Геометрический и индукционный принципы зондирования	199
9.5. Гальваническая и индукционная составляющие поля	200
9.6. Общие сведения о генераторах и источниках поля.....	202
9.7. Общие сведения о датчиках поля и измерителях	203
9.8. Прямые и обратные задачи электромагнитных зондирований	205
9.9. Основные этапы электромагнитных исследований	208
9.10. Морские нефтегазовые месторождения	208
9.11. Удельное сопротивление горных пород осадочных бассейнов.....	209
9.12. Задачи электроразведки нефтегазовых месторождений	212
9.13. Задачи электроразведки газогидратов и многолетней мерзлоты	213

Глава 10. Морские зондирования становлением поля.....	215
10.1. Предпосылки создания метода ЗС.....	215
10.2. Основные особенности устанавливающегося ЭМ поля.....	216
10.3. Кажущееся сопротивление в методе ЗС.....	218
10.4. Использование поляризационных эффектов в методе ЗС.....	219
10.5. Аппаратурно-методические комплексы для метода ЗС.....	221
10.6. АМК предприятия Севморгео.....	222
10.7. АМК компании ЕММЕТ.....	223
10.8. АМК компании МЕМ.....	225
10.9. АМК предприятия Южморнефтегеофизика.....	226
10.10. АМК компании Солитон.....	227
10.11. АМК компании СГНПК.....	228
10.12. АМК компании МГУ-Геофизика.....	229
10.13. АМК университета Торонто.....	230
10.14. АМК компании KMS.....	231
10.15. АМК компаний Petromarker и Allton.....	232
10.16. Использование кругового электрического диполя.....	234
10.17. Применение шумоподобных сигналов.....	235
10.18. Методы решения прямой одномерной задачи ЗС.....	238
10.19. Алгоритм решения прямой одномерной задачи ЗС.....	238
10.20. Одномерное моделирование ЗС на шельфе.....	240
10.21. Трёхмерное моделирование ЗС на шельфе.....	242
10.22. Одномерная интерпретация кривых ЭМ зондирований.....	244
10.23. Одномерная интерпретация кривых морских ЗС.....	246
10.24. Особенности интерпретации данных ДНМЭ.....	249
10.25. Использование высокочастотных осцилляций сигнала.....	251
10.26. Преимущества и недостатки метода морских ЗС.....	253
Глава 11. Морские зондирования гармоническим полем.....	255
11.1. Особенности методов зондирования гармоническим полем.....	255

11.2. Вертикальный и горизонтальный скин-эффект.....	256
11.3. Кажущееся сопротивление в методе ДЭМЗ.....	258
11.4. Влияние высокоомных слоёв.....	259
11.5. Изопараметрические зондирования	261
11.6. АМК Скриппсовского океанографического института.....	262
11.7. АМК Кембриджского университета и Саутгемптонского центра	265
11.8. АМК Компании ОНМ.....	268
11.9. АМК компании EMGS.....	270
11.10. АМК компаний PGS и OFG	272
11.11. Использование токовых сигналов различной формы	273
11.12. Обработка данных	275
11.13. Решаемые задачи и анализ чувствительности.....	277
11.14. Инверсия данных ДЭМЗ, одномерный случай.....	278
11.15. Двухмерная инверсия данных ДЭМЗ.....	280
11.16. Трёхмерная инверсия данных ДЭМЗ	283
11.17. Учёт анизотропии при трёхмерной инверсии данных ДЭМЗ	287
11.18. Изучение газового месторождения на шельфе Австралии	288
11.19. Комплексные исследования других месторождений	296
11.20. Картирование газогидратов.....	299
11.21. Преимущества и недостатки метода ДЭМЗ.....	301
Глава 12. Морские магнитотеллурические зондирования	303
12.1. Особенности метода МТЗ	303
12.2. МТЗ с использованием тензора импеданса.....	304
12.3. Использование дополнительных передаточных функций	308
12.4. Анализ магнитотеллурических данных.....	310
12.5. Решение прямых и обратных задач МТЗ	316
12.6. Влияние водной толщи	321
12.7. Геоэлектрическая неоднородность типа горста	324
12.8. Береговой эффект	328

12.9. Донные станции Скриппсовского института	332
12.9. МТЗ в Мексиканском заливе (проект Gemini).....	335
12.10. Дальнейшее развитие морских разведочных МТЗ.....	340
12.11. Разведочные МТЗ в транзитной зоне	342
Часть IV. Глубинная геоэлектрика в океанах	345
Глава 13. Фоновый разрез коры и верхней мантии океанов.....	346
13.1. Океанская тектоносфера	346
13.2. ДЭМЗ в северо-восточной части Тихого океана.....	347
13.3. «Солевой мост» для измерений электрического поля	350
13.4. МТЗ в северо-восточной части Тихого океана	352
13.5. Астеносфера в свете магнитотеллурических данных.....	355
13.6. Использование глубоководных кабелей.....	357
13.7. Магнитовариационное зондирование	361
13.8. МТЗ на дрейфующих станциях в Северном Ледовитом океане.....	364
Глава 14. Исследования океанических зон спрединга	366
14.1. Границы литосферных плит	366
14.2. Хребет Рейкьянес (проект RAMESSES).....	367
14.3. Хребет Валу Фа в задуговом бассейне Лау.....	371
14.4. Восточно-Тихоокеанское поднятие, 17 ⁰ ю.ш. (проект MELT).....	376
14.5. Восточно-Тихоокеанское поднятие в районе 10 ⁰ с.ш.....	378
Глава 15. Исследования зон перехода «океан – континент»	382
15.1. Дальний Восток.....	382
15.2. Японское море	384
15.3. Каскадная субдукционная зона (проект EMSLAB).....	386
15.4. Централно-Американская зона субдукции	403
15.5. Баренцево море.....	404
Список литературы к частям III и IV.....	407

Предисловие

Дисциплина «Электроразведка на морских и пресноводных акваториях» читается на геологическом факультете МГУ в рамках магистерской программы «Малоглубинная и глубинная геофизика».

До 2001 года курс «Морская электроразведка» для старшекурсников кафедры геофизики геологического факультета МГУ читал Л.Л. Ваньян. С 2002 года этот курс вёл П.Ю. Пушкарёв, позднее к нему были добавлены лекции по малоглубинной электроразведке, которые стал читать И.Н. Модин, и с 2016 года курс носит название «Электроразведка на морских и пресноводных акваториях».

Книга является основным учебником по данной дисциплине. Кроме того, части III и IV используются в качестве учебного пособия по курсу «Геофизические поля Мирового океана» в рамках магистерской программы «Морская геология». Авторы надеются, что книга будет полезна студентам, аспирантам, преподавателям и специалистам, занимающимся геологическими и геофизическими исследованиями на акваториях рек, озёр, морей и океанов.

Части I и II написаны И.Н. Модиним, в них рассмотрены электроразведочные и другие геофизические исследования на пресноводных акваториях. Части III и IV написаны П.Ю. Пушкаревым и посвящены применению электромагнитных методов в морях и океанах. В зависимости от специализации читателя, ему может быть интересна только первая или вторая половина книги, поэтому они самодостаточны, а объяснения некоторых понятий повторяются.

Авторы будут благодарны читателям за замечания и предложения, их можно присылать по адресам imodin@yandex.ru и pavel_pushkarev@list.ru