

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В. ЛОМОНОСОВА  
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

# ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА

Том I

Под редакцией проф. И.Н. Модина,  
доц. А.Г. Яковлева



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

# **ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА**

**Пособие**  
**по электроразведочной практике для студентов**  
**геофизических специальностей**

## **Том I**

**Под редакцией**  
**проф. И.Н. Модина, доц. А.Г. Яковлева**

Москва  
2019

УДК 550.837  
ББК 26.21

Рецензенты:

проф. кафедры геофизики РГГРУ-МГРИ, д.ф.-м.н. **А.Д. Каринский**,  
зав. лаб. Института океанологии РАН, к.г.-м.н. **Н.А. Пальшин**.

Авторский коллектив:

**Е.Д. Алексанова**, к.ф.-м.н. **А.А. Бобачев**,  
к.т.н. **Д.В. Епишкин**, к.ф.-м.н. **Н.И. Зорин**,  
д.г.-м.н. **В.А. Куликов**, д.т.н. **И.Н. Модин**,  
д.г.-м.н. **П.Ю. Пушкарев**, д.ф.-м.н. **В.А. Шевнин**,  
**Н.Л. Шустов**, к.ф.-м.н. **А.Г. Яковлев**.

**ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА: пособие по электроразведочной  
практике для студентов геофизических специальностей. Том I /  
под редакцией проф. И.Н. Модина и доц. А.Г. Яковлева –  
2-е изд., перераб. и доп. – Тверь: «ПолиПРЕСС», 2018. – 276 с.**

Книга предназначена для студентов-геофизиков третьего курса,  
обучающихся по направлению «Геология» (профиль «Геофизика»),  
а также может быть полезна всем специалистам-электроразведчикам.

Допущено УМС геологического факультета  
МГУ им. М.В. Ломоносова в качестве учебного пособия для студентов,  
обучающихся по направлению «Геология», профиль «Геофизика».

Печатается по решению ученого совета геологического факультета  
МГУ им. М.В. Ломоносова.

ISBN 978-5-6040348-5-9

© Е.Д. Алексанова, А.А. Бобачев,  
Д.В. Епишкин, Н.И. Зорин,  
В.А. Куликов, И.Н. Модин,  
П.Ю. Пушкарев, В.А. Шевнин,  
Н.Л. Шустов, А.Г. Яковлев, 2018  
© ООО «ПолиПРЕСС», 2018



*Профессор Виктор Казимирович ХМЕЛЕВСКОЙ,*  
зав. отделением геофизики геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова,  
основатель научно-учебной геофизической базы МГУ в д. Александровке  
(1931–2017 гг.)

## Оглавление

Предисловие.....	7
Некоторые используемые сокращения.....	9
Введение.....	11
<b>Часть 1. Общие сведения об электроразведке и районе проведения практики</b>	
Глава 1. Основы теории электроразведки (А.А. Бобачев, П.Ю. Пушкарев, А.Г. Яковлев).....	15
1.1. Уравнения Максвелла.....	15
1.2. Методы постоянного тока, геометрические зондирования.....	18
1.3. Низкочастотные методы, индукционные зондирования.....	24
1.4. Общие вопросы интерпретации данных электроразведки.....	30
Глава 2. Электроразведочный канал и принципы устройства электроразведочной аппаратуры (Н.И. Зорин, И.Н. Модин, Н.Л. Шустов, А.Г. Яковлев).....	38
2.1. Свойства линейных физических систем.....	38
2.2. Структура электроразведочного канала.....	42
2.3. Источники электромагнитного поля.....	43
2.4. Генераторные устройства.....	47
2.5. Измерительные устройства.....	49
2.6. Датчики поля.....	56
Глава 3. Электромагнитные свойства горных пород (Н.И. Зорин, И.Н. Модин, В.А. Шевнин, А.Г. Яковлев).....	63
3.1. Удельное электрическое сопротивление.....	64
3.2. Диэлектрическая проницаемость.....	74
3.3. Магнитная проницаемость.....	76
3.4. Естественная поляризация.....	78
3.5. Вызванная поляризация.....	81

<b>Глава 4. Геологическое строение района проведения практики</b> (В.А. Куликов, И.Н. Модин) .....	91
4.1. Географическое положение .....	91
4.2. Глубинное геологическое строение .....	96
4.3. Геология четвертичных отложений .....	105
<b>Часть 2. Глубинная электроразведка</b>	
<b>Глава 5. Магнитотеллурическое зондирование</b> (Е.Д. Алексанова, Н.Л. Шустов, А.Г. Яковлев).....	115
5.1. Основы теории .....	115
5.2. Методика полевых работ .....	128
5.3. Обработка данных .....	140
5.4. Анализ данных.....	143
5.5. Интерпретация данных .....	147
5.6. Примеры применения метода МТЗ в районе практики .....	156
<b>Глава 6. Частотное зондирование</b> (В.А. Куликов, П.Ю. Пушкарев, А.Г. Яковлев).....	163
6.1. Основы теории .....	164
6.2. Методика полевых работ .....	167
6.3. Обработка и интерпретация данных.....	173
6.4. Примеры применения метода ЧЗ в районе практики.....	177
<b>Глава 7. Зондирование становлением поля</b> (Е.Д. Алексанова, А.Г. Яковлев).....	179
7.1. Основы теории .....	179
7.2. Методика полевых работ .....	185
7.3. Обработка и интерпретация данных.....	194
7.4. Примеры применения метода ЗСБ в районе практики .....	200
<b>Глава 8. Метод вызванной поляризации</b> (Н.И. Зорин, В.А. Куликов, А.Г. Яковлев) .....	203
8.1. Основы теории .....	203
8.2. Методика полевых работ .....	211
8.3. Обработка и интерпретация данных.....	215
8.4. Примеры применения метода ВП в районе практики.....	219
<b>Заключение .....</b>	<b>225</b>

<b>Приложение 1.</b> Техника безопасности при проведении электроразведочной учебной практики (И.Н. Модин) .....	226
<b>Приложение 2.</b> Топогеодезические работы (А.А. Бобачев) .....	232
<b>Приложение 3.</b> Особенности проведения полевых электроразведочных работ (И.Н. Модин).....	238
<b>Приложение 4.</b> О сопротивлении заземления (В.А. Шевнин) .....	244
<b>Приложение 5.</b> Сводные кривые ЭМЗ (Е.Д. Алексанова, В.А. Куликов).....	246
<b>Приложение 6.</b> Эквивалентные замены в слоистом разрезе (А.Г. Яковлев) .....	248
<b>Приложение 7.</b> Принцип причинности и дисперсионные соотношения (Н.И. Зорин).....	250
<b>Приложение 8.</b> Поля электрифицированных железных дорог (Е.Д. Алексанова, В.А. Куликов, А.Г. Яковлев).....	254
<b>Приложение 9.</b> Методы обработки данных МТЗ (Д.В. Епишкин).....	260
<b>Приложение 10.</b> Особенности искажений кривых ЗСБ (Е.Д. Алексанова, Н.И. Зорин).....	266
<b>Приложение 11.</b> Связь между параметрами ВП (Н.И. Зорин) .....	270

*Посвящается светлой памяти заслуженного профессора МГУ В.К. Хмелевского, выдающегося ученого и педагога*

## Предисловие

Настоящая книга является вторым изданием учебника, выпущенного в 2005 году [Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей / под ред. проф. В.К. Хмелевского, доц. И.Н. Модина и доц. А.Г. Яковлева. – М.: МГУ, 2005. – 311 с.]. Оно обобщает опыт проведения ежегодных учебных практик по электроразведке на геофизической базе геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (МГУ). База находится на расстоянии 230 км от Москвы в д. Александровке Калужской области, на территории национального парка «Угра». Начиная с 1992 г. на этом полигоне проводится электроразведочная практика для студентов-геофизиков МГУ, с 1998 г. – для студентов Российского государственного геолого-разведочного университета (МГРИ-РГГРУ) и с 2004 г. – для студентов государственного университета «Дубна».

Александровская база расположена в живописном уголке Центральной России, в месте впадения реки Вори в реку Угру. Территория полигона удалена на большое расстояние от крупных промышленных центров и электрифицированных железных дорог. Относительно низкий уровень электромагнитных помех позволяет проводить здесь глубинные электромагнитные зондирования.

Район практики имеет богатую историю. С древнейших времен он был заселен людьми. На берегах рек Воря и Угра найдено несколько стоянок времен каменного века и других городищ, ярко выраженных в современном рельефе. В 1480 г. в месте слияния рек Угры и Вори русские войска противостояли войскам Золотой Орды. После Великого стояния на Угре Русь окончательно освобождается от монголо-татарского ига. В Отечественную войну 1812 г. в этом районе действовал партизанский отряд под руководством Дениса Давыдова. Во время Великой Отечественной войны здесь проходили кровопролитные бои: оборона Москвы в 1941 г., окружение и героическая гибель 33-й армии генерала Ефремова весной 1942 г., битва за Варшавское шоссе во время наступления Советской армии в 1942–1943 гг. О степени ожесточенности боев свидетельствуют братские могилы и остатки оборонительных сооружений вдоль реки Угры.

Геологическое строение района практики является типичным для Русской плиты, которая занимает большую часть европейской территории России. Верхняя часть разреза сложена ледниковыми и аллювиальными отложениями. Ниже в осадочном чехле присутствуют геологические комплексы, характерные для Московской синеклизы. Наконец в кристаллическом фундаменте на-



блюдаются неоднородности в виде мощных залежей железистых кварцитов. Эти объекты в фундаменте порождают аномалии постоянного магнитного поля Земли, которые являются северным окончанием зоны Курской магнитной аномалии (КМА).

В ходе электроразведочной практики решаются как учебные, так и научно-производственные задачи. Студенты проводят исследования с помощью целого комплекса методов, который перекрывает практически весь спектр электромагнитных явлений, используемых в геофизике. При этом применяется широкий набор современной отечественной и зарубежной электроразведочной аппаратуры. Во время практик ежегодно наращиваются площади геофизических исследований в зоне сочленения Московской синеклизы и Воронежской антеклизы. Электромагнитными зондированиями изучается осадочный чехол и кристаллический фундамент. Магнитотеллурическими методами в районе Бярятинской магнитной аномалии выявлена глубинная зона повышенной проводимости. Кроме региональных работ, проводятся также малоглубинные исследования на археологических объектах, изучаются современные русловые и озерные отложения, а также четвертичные моренные отложения и неоген-четвертичные палеодолины. Все эти исследования стимулируют разработку теории, методики и техники малоглубинной и глубинной электроразведки.

Учебное пособие состоит из трех частей. Первая часть посвящена основам теории электроразведки и описанию геологического строения района работ. Вторая часть содержит описание методов глубинной, а третья часть – методов малоглубинной электроразведки. Деление на малоглубинную и глубинную электроразведку весьма условно. Например, методы зондирования становлением поля в ближней зоне и вызванной поляризации могут решать как глубинные, так и малоглубинные задачи. Для удобства изучения отдельно взятых методов некоторые сведения в разных главах повторяются.

Из-за возросшего объема пособия оно разделено на два тома: *том I* – часть 1 («Общие сведения об электроразведке и районе проведения практики»), часть 2 («Глубинная электроразведка») и приложения; *том II* – часть 3 («Малоглубинная электроразведка»).