

ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Электромагнитные зондирования при решении глубинных задач

**Рекомендуется для направления подготовки
020700 «Геология», магистерская программа
«Малоглубинная и глубинная геофизика»**

Квалификация (степень) выпускника: магистр

DISCIPLINE PLAN

Electromagnetic soundings in deep interior studies

Recommended for training programme

020700 «Geology», master program

«Near-Surface and Deep Exploration Geophysics»

Qualification (degree) of the graduate: Master

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Электромагнитные зондирования при решении глубинных задач» являются получение знаний об особенностях применения электромагнитных зондирований при решении различных глубинных задач и приобретение навыков использования и развития методов и программного обеспечения для обработки и интерпретации электромагнитных данных.

1. Goals and objectives of study

The goals of study of the discipline «Electromagnetic soundings in deep interior studies» are gaining knowledge about application of electromagnetic soundings in deep interior studies and acquirement of practical skills in usage and development of methods and software for electromagnetic data processing and interpretation.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Электромагнитные зондирования при решении глубинных задач» читается в рамках магистерской программы «Малоглубинная и глубинная геофизика» профиля «Геофизика». Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин из базовой и вариативной частей ООП бакалавриата: блока общенаучной подготовки (математические дисциплины «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Теория вероятности и математическая статистика», «Вычислительная математика», «Информатика») и блока профильной подготовки (геофизические дисциплины «Теория геофизических полей», «Радиоэлектроника», «Электроразведка», «Некорректные задачи геофизики», «Интерпретация данных электроразведки»).

2. Discipline as a part of the curriculum

The discipline «Electromagnetic soundings in deep interior studies» is studied in the framework of master's program «Near-Surface and Deep Exploration Geophysics». The discipline is based on knowledge, obtained while studying the disciplines from fundamental and optional parts of the bachelors BEP: from the block of general science training (mathematical disciplines «Mathematical analysis», «Differential equations», «Probability theory and mathematical statistics», «Numerical methods», «Computer science») and from the block of profile training (geophysical disciplines «Geophysical field theory», «Radio electronics», «Electrical prospecting», «Ill-posed problems in geophysics», «Interpretation of electrical prospecting data»).

3. Требования к результатам освоения дисциплины

В процессе изучения дисциплины «Электромагнитные зондирования при решении глубинных и малоглубинных задач» формируются элементы следующих профессиональных компетенций:

- способность глубоко осмысливать и формировать диагностические решения проблем геологии путем интеграции фундаментальных разделов геофизики и специализированных геологических знаний (М-ПК-1);

- способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области геофизики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (М-ПК-2);

- способность использовать углубленные специализированные профессиональные теоретические и практические знания для проведения геофизических исследований (М-ПК-4);

- способность к профессиональной эксплуатации современного геофизического полевого и лабораторного оборудования и приборов (М-ПК-5);

- способность свободно и творчески пользоваться современными методами обработки и интерпретации комплексной геофизической информации для решения

научных и практических задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности (М-ПК-6);

- готовность к использованию практических навыков организации и управления научно-исследовательскими и научно-производственными работами при решении задач геофизики (М-ПК-7);

- готовность к проектированию комплексных научно-исследовательских и научно-производственных работ при решении геофизических задач (М-ПК-10).

В результате освоения дисциплины «Электромагнитные зондирования при решении глубинных и малоглубинных задач» обучающийся должен:

знать особенности применения и возможности электромагнитных зондирований при региональных, нефтегазовых, геотермальных и инженерно-геологических исследованиях;

уметь проводить измерения, обработку, анализ и интерпретацию электромагнитных данных;

владеть навыками применения и развития методов и программного обеспечения для обработки и анализа данных, решения прямых и обратных задач электромагнитных зондирований.

3. Discipline requirements

The result of studying the discipline «Electromagnetic soundings in deep interior studies» is the formation of the following professional competences:

- the ability to deeply comprehend and generate diagnostic solutions to geological problems by integrating the fundamentals of geophysics and specific geological knowledge (M-PC-1);

- the ability to independently set specific objectives in the field of scientific research in geophysics, and solve them using modern facilities, equipment, information technologies, most recent experience of domestic and foreign researchers (M-PC-2);

- the ability to use advanced specialized professional theoretical and practical knowledge to carry out geophysical research (M-PC-4);

- the ability to professionally use modern geophysical field and laboratory equipment and devices (M-PC-5);

- the ability to freely and creatively use modern methods of processing and interpretation of complex geophysical data in order to solve scientific and practical problems, including those out of the professional scope (M-PC-6);

- willingness to use practical skills of organization and management of research and research-based work aiming at solving the problems of geophysics (M-PC-7);

- readiness to design complex research and scientific-production projects for solving geophysical problems (M-PC-10).

As a result of studying the discipline « Electromagnetic soundings in deep interior studies» the student must:

know the application specifics and possibilities of electromagnetic soundings in regional, hydrocarbon, geothermal and engineering-geological exploration;

be able to acquire, process, analyze and interpret electromagnetic data;

master the application and development of methods and software for data processing and analysis, for the solution of forward and inverse problems of electromagnetic soundings.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины «Электромагнитные зондирования при решении глубинных и малоглубинных задач» составляет 4 зачётные единицы или 144 часа, в том числе аудиторной нагрузки 56 часов (лекции 28 часов, практические занятия 8 часов и семинары 20 часов) и самостоятельной работы студентов 88 часов.

4.1. Структура дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов (трудоемкость в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	семинары	практические занятия	лабораторные работы	самостоятельная работа	
1	Основы измерения электрических сигналов	9	1-2	4		4		12	Прием практич. заданий
2	Обработка магнитотеллурических данных	9	3-4	4		4		12	Прием практич. заданий
3	Обсерваторские наблюдения ЭМ поля	9	5-6	4	4			12	
4	Инверсия синтетических ЭМ данных	9	7	2	2			8	
5	Региональные ЭМ исследования	9	8-9	4	4			12	Доклад
6	Нефтегазовые ЭМ исследования	9	10-11	4	4			12	Доклад
7	Геотермальные ЭМ исследования	9	12-13	4	4			12	Доклад
8	ЭМ исследования в инженерной геофизике	9	14	2	2			8	
Промежуточная аттестация		9							Экзамен
Всего: 4 ЗЕ или 144 часа				28	20	8		88	

4.2. Содержание дисциплины

(1). Основы измерения электрических сигналов

1. Фильтр ФНЧ. Схема. Расчет частоты среза.
2. Фильтр ФВЧ. Схема. Расчет частоты среза.
3. Операционный усилитель. Схемы включения (дифференциальный вход, повторитель).
4. Согласование каскадов систем измерения по входному/выходному сопротивлению.
5. Градуировочная кривая, АЧХ измерительного канала.

(2). Обработка магнитотеллурических данных

1. Способы получения спектральных характеристик измеренных сигналов.
2. Построение импедансных оценок. Импеданс как частотная характеристика разреза.
3. Отбраковка и осреднение кривых компонент тензора импеданса.
4. Одноточечная и синхронная обработка данных.

(3). Обсерваторские наблюдения ЭМ поля

1. Аппаратура для измерения параметров ЭМ поля в обсерватории.
2. Устройство и особенности функционирования геомагнитной обсерватории.
3. Сети геомагнитных обсерваторий и мировые центры данных.
4. Области использования обсерваторских данных.

(4). Инверсия синтетических ЭМ данных

1. Методы анализа и инверсии МТ данных. Выбор стратегии интерпретации МТ данных.
2. Использование синтетических данных для развития методики интерпретации.
3. Двухмерная инверсия МТ данных при наличии трёхмерных структур.
4. Трёхмерная инверсия МТ данных, полученных на одиночном профиле.

(5). Региональные ЭМ исследования

1. Методы исследования мантийной электропроводности.
2. Результаты глобальных и региональных исследований мантийной электропроводности.
3. Спутниковые наблюдения геомагнитного поля.
4. Природа коровых аномалий электропроводности.
5. Результаты изучения коровых аномалий электропроводности Северной Евразии.

(6). Нефтегазовые ЭМ исследования

1. Задачи, решаемые ЭМ методами при нефтегазовых исследованиях.
2. МТ исследования по опорным и региональным профилям.
3. МТ исследования на Таймыре.
4. МТ исследования в Прикаспийской впадине.
5. Применение метода вызванной поляризации для картирования углеводородов.

(7). Геотермальные ЭМ исследования

1. Физические основы применения ЭМЗ для изучения геотермальных ресурсов.
2. Геоэлектрическая модель типичной геотермальной зоны и методика интерпретации.
3. ЭМ исследования геотермальной зоны Хенгил (Исландия).
4. МТ исследования геотермальной зоны Травале (Италия).
5. Возможности ЭМЗ при изучении геотермальных ресурсов платформенных областей.

(8). ЭМ исследования в инженерной геофизике

1. Аппаратура и методика Аудио-МТЗ и Радио-МТЗ.
2. Возможности ЭМЗ при решении различных малоглубинных задач.
3. Применение ЭМЗ при изысканиях под строительство ЭЖД в Куэнке (Испания).
4. Применение Аудио-МТЗ при прогнозе подземных вод в Истмии (Греция).

4. The structure and content of the discipline

Overall study of the discipline «Electromagnetic soundings in deep interior studies» content is 4 credits or 144 hours, including 56 hours of classes (lectures 28 hours plus practical work 8 hours plus seminars 20 hours) and 88 hours of independent work of students.

4.1 Discipline structure

Number	Section of the discipline	Semester	Week of the semester	Kinds of study activities, including independent work of students (labor content in hours)					Forms of progress control (in weeks of semester) Form of intermediate assessment (in semesters)
				lectures	seminars	practical work	laboratory work	independent work	
1	Basics of electric signal measurements	9	1-2	4		4		12	Practical task
2	Magnetotelluric data processing	9	3-4	4		4		12	Practical task
3	Observatory measurements of EM field	9	5-6	4	4			12	
4	Inversion of synthetic EM data	9	7	2	2			8	
5	Regional EM studies	9	8-9	4	4			12	Report
6	Hydrocarbon EM exploration	9	10-11	4	4			12	Report
7	Geothermal EM exploration	9	12-13	4	4			12	Report
8	Near surface EM studies	9	14	2	2			8	
Intermediate assessment		10							Examination
In total: 4 credits or 144 hours				28	20	8		88	

4.2. Discipline contents

(1). Basic of electric signal measurements

1. Low-pass filter. Scheme. Determination of cutoff frequency.
2. High-pass filter. Scheme. Determination of cutoff frequency.
3. Operational amplifier. Switching on schemes (differential input, repeater).
4. Measurement system cascades matching in input/output resistance.
5. Calibration curve, amplitude-frequency characteristic of a measuring channel.

(2). Magnetotelluric data processing

1. Methods for calculation of measuring channel spectral characteristics.
2. Impedance estimation. Impedance as a frequency response of a medium.
3. Editing and averaging of impedance tensor component curves.
4. Single site and remote reference data processing.

(3). Observatory measurement of EM field

1. Equipment for electromagnetic field parameters measurements in an observatory.
2. Structure and operation of a geomagnetic observatory.
3. Geomagnetic observatory networks and world data centers.
4. Fields of application of observatory data.

(4). Inversion of synthetic EM data

1. Methods for MT data analysis and inversion. Selection of MT data interpretation strategy.
2. Application of synthetic data for the development of interpretation methodology.
3. 2D MT data inversion in presence of 3D structures.
4. 3D inversion of MT data, obtained at a single profile.

(5). Regional MT studies

1. Methods for mantle conductivity studies.
2. Results of global and regional mantle conductivity studies.
3. Satellite observations of geomagnetic field.
4. Nature of crustal conductivity anomalies.
5. Results of studies of crustal conductivity anomalies in Northern Eurasia.

(6). Hydrocarbon EM exploration

1. Problems solved by EM methods in hydrocarbon studies.
2. MT soundings along regional profiles.
3. MT soundings in Taymyr peninsula.
4. MT soundings in Precaspian depression.
5. Application of induced polarization method for hydrocarbon mapping.

(7). Geothermal EM exploration

1. Physical basics of EM methods application for geothermal resources exploration.
2. Resistivity model of a typical geothermal zone and interpretation methodology.
3. MT studies of Hengill geothermal zone (Iceland).
4. MT studies of Travale geothermal zone (Italy).
5. Possibilities of EM methods in studies of geothermal resources of platform regions.

(8). Near-surface EM studies

1. Equipment and technologies of Audio- and Radio-magnetotellurics.
2. Possibilities of electromagnetic soundings in near surface problems solution.
3. EM soundings for engineering study prior to construction of railroad near Cuenca (Spain).
4. Audio-MT soundings for groundwater prognosis in Isthmia (Greece).

5. Рекомендуемые технологии

При реализации программы дисциплины «Электромагнитные зондирования при решении глубинных задач» используются различные образовательные технологии. Аудиторные занятия (56 часов) включают лекции, в том числе интерактивные и с демонстрацией слайдов, а также практические занятия и семинары. Самостоятельная работа студентов (88 часов) включает повторение материалов лекций, подготовку к семинарам, выполнение практических заданий, а также подготовку к экзамену.

5. Recommended methodology

Different educational technologies are used during the implementation of «Electromagnetic soundings in deep interior studies» discipline program. Class works (56 hours) include lectures, some of which are interactive or with slides demonstration, as well as practical tasks and seminars. Independent work of students (88 hours) includes revision of lecture materials, preparation to seminars, practical tasks solutions and preparation to the examination.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Выполнившие практические задания студенты допускаются к экзамену. Список вопросов к экзамену совпадает с приведённым выше списком тем, представленных в разделе 4.2.

6. Marking for current performance control and interim assessment during and at the end of the course

Students who solved all practical tasks are allowed to pass the examination. The list of questions for the examination coincides with the list of topics, presented above in section 4.2.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7. Methodological and informational support

а) основная литература:

а) primary list of books:

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. Москва, Недра, 1992, 250 с.
2. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Новиков Д.Б., Пастуцан В.В. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. Москва, Диалог-МГУ, 1997, 161 с.

б) дополнительная литература:

б) secondary list of books:

1. Бобровников Л.З., Кадыров И.Н., Попов В.А. Электроразведочная аппаратура и оборудование. М.: Недра, 1985. 336 с.
2. Семёнов В.Ю. Обработка данных магнитотеллурического зондирования. М.: Недра, 1985. 133 с.
3. Нечаев С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2003. 92 с.
4. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М: Научный мир, 2009, 680 с.
5. Жданов М.С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. М: Научный мир, 2012. 680 с.
6. Chave A.D., Jones A.G. (Editors). The magnetotelluric method: Theory and practice. Cambridge University Press, 2012. 552 p.
7. Bahr K., Simpson F. Practical magnetotellurics. Cambridge University Press, 2005. 270 p.

в) Программное обеспечение:

с) software and Internet resources:

1. MT-Corrector – программа редактирования и сглаживания кривых МТЗ.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для материально-технического обеспечения дисциплины «Электромагнитные зондирования при решении глубинных задач» используются лекционные аудитории и библиотека геологического факультета МГУ, а также компьютерный класс отделения геофизики.

8. Necessary facilities and equipment

For the material and technical support of the discipline «Electromagnetic soundings in deep interior studies » lecture rooms and the library of the Faculty of geology of MSU are used, as well as the computer class of the Geophysical department.

9. Краткое содержание дисциплины (аннотация)

Рассматриваются основы измерения электрических сигналов, обработка магнитотеллурических данных, методика обсерваторских наблюдений электромагнитного поля. Обсуждаются вопросы инверсии синтетических ЭМ данных и применения ЭМЗ при региональных, нефтегазовых, геотермальных и инженерно-геологических исследованиях.

9. Discipline content (annotation)

We consider the basics of electric signals measurements, magnetotelluric data processing, observatory measurements of electromagnetic field. Problems of synthetic EM data inversion and application of EM soundings for regional, hydrocarbon, geothermal and near-surface studies are discussed.

10. Учебно-методические рекомендации для обеспечения самостоятельной работы студентов

Темы для самостоятельной работы студентов:

- Магнитотеллурические функции отклика;
- Главные значения и главные направления тензора импеданса;
- Разделение локальных и региональных магнитотеллурических эффектов;
- Магнитовариационные функции отклика;
- Две классические модели теории искажений;
- Модели геоэлектрических структур в осадочном чехле;
- Модели глубинных геоэлектрических структур;
- Модели глубинных разломов;
- Постановка обратной задачи;
- Интерпретационная модель;
- Стратегия инверсии.

10. Educational and methodological recommendations for self-study

Topics for independent work of students:

- Magnetotelluric response functions;
- Principle values and directions of impedance tensor;
- Separation of local and regional magnetotelluric effects;
- Magnetovariational response functions;
- Two classic models of the distortion theory;
- Models of resistivity structures in the sedimentary cover;
- Models of deep resistivity structures;
- Models of deep faults;
- Statement of the inverse problem;
- Interpretational model;
- Inversion strategy.

Разработчики:

Геологический факультет МГУ доцент В.А. Куликов
(место работы) (занимаемая должность) (инициалы, фамилия)
Рабочий телефон, мобильный телефон, e-mail:
8(495)939-4912, 8(903)194-7160, vic@nw-geophysics.ru

Геологический факультет МГУ доцент П.Ю. Пушкарёв
(место работы) (занимаемая должность) (инициалы, фамилия)
Рабочий телефон, мобильный телефон, e-mail:
8(495)939-4912, 8(905)703-7950, pavel_pushkarev@list.ru

Геологический факультет МГУ научный сотрудник Н.Л. Шустов
(место работы) (занимаемая должность) (инициалы, фамилия)
Рабочий телефон, мобильный телефон, e-mail:
8(495)939-4912, 8(910)476-3289, nicksh@hotmail.ru

Геологический факультет МГУ доцент А.Г. Яковлев
(место работы) (занимаемая должность) (инициалы, фамилия)
Рабочий телефон, мобильный телефон, e-mail:
8(495)939-4912, 8(495)922-2836, nordwest@mtu-net.ru

Эксперты:

Геологический факультет МГУ профессор И.Н. Модин
(место работы) (занимаемая должность) (инициалы, фамилия)

Институт океанологии РАН научный сотрудник Д.А. Алексеев
(место работы) (занимаемая должность) (инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании Ученого совета Геологического факультета МГУ (протокол № _____ от _____).

Developers:

Geological faculty of MSU (place of work)	associate professor (position)	V.A. Kulikov (initials, surname)
Office phone number, mobile phone number, e-mail: 8(495)939-4912, 8(903)194-7160, vic@nw-geophysics.ru		

Geological faculty of MSU (place of work)	associate professor (position)	P.Yu. Pushkarev (initials, surname)
Office phone number, mobile phone number, e-mail: 8(495)939-4912, 8(905)703-7950, pavel_pushkarev@list.ru		

Geological faculty of MSU (place of work)	researcher (position)	N.L. Shustov (initials, surname)
Office phone number, mobile phone number, e-mail: 8(495)939-4912, 8(910)476-3289, nicksh@hotmail.ru		

Geological faculty of MSU (place of work)	associate professor (position)	A.G. Yakovlev (initials, surname)
Office phone number, mobile phone number, e-mail: 8(495)939-4912, 8(495)922-2836, nordwest@mtu-net.ru		

Experts:

Geological faculty of MSU (place of work)	professor (position)	I.N. Modin (initials, surname)
--	-------------------------	-----------------------------------

Institute of Oceanology of RAS (place of work)	researcher (position)	D.A. Alekseev (initials, surname)
---	--------------------------	--------------------------------------

The program has been approved by Academic Council of Faculty of Geology of MSU (protocol No. _____ from _____).