

ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Прямые и обратные задачи магнитотеллурики

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

Квалификация (степень) выпускника: магистр

DISCIPLINE PLAN

Forward and inverse problems of magnetotellurics

Recommended for training programme

020700 «Geology», master program

«Deep Exploration Geophysics»

Qualification (degree) of the graduate: Master

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Прямые и обратные задачи магнитотеллурики» является приобретение навыков использования и развития методов и программного обеспечения для моделирования и интерпретации магнитотеллурических данных.

1. Goals and objectives of study

The goal of study of the discipline «Forward and inverse problems of magnetotellurics» is acquirement of practical skills in usage and development of methods and software for magnetotelluric data modeling and interpretation.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Прямые и обратные задачи магнитотеллурики» 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»). В наибольшей степени дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин «Теория электромагнитных зондирований» и «Электромагнитные зондирования при решении глубинных задач» (вариативная часть ООП магистратуры).

2. Discipline as a part of the curriculum

The discipline «Forward and inverse problems of magnetotellurics» 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»). To a considerable degree the discipline is based on knowledge obtained while studying the disciplines «Theory of electromagnetic soundings» and «Electromagnetic soundings in deep interior studies» (optional part of masters BEP).

3. Требования к результатам освоения дисциплины

В процессе изучения дисциплины «Прямые и обратные задачи магнитотеллурики» 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 «Прямые и обратные задачи магнитотеллурики» обучающийся должен:

знать теорию решения прямых и обратных задач магнитотеллурики;

уметь проводить моделирование и интерпретацию магнитотеллурических данных;

владеть навыками применения и развития методов и программного обеспечения для решения прямых и обратных задач магнитотеллурики.

3. Discipline requirements

The result of studying the discipline «Forward and inverse problems of magnetotellurics » 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 «Forward and inverse problems of magnetotellurics» the student must:

know the theory of forward and inverse magnetotelluric problems solution;

be able to model and interpret magnetotelluric data;

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

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины «Прямые и обратные задачи магнитотеллурики» составляет 3 зачётные единицы или 108 часов, в том числе аудиторной нагрузки 26 часов (лекции 13 часов, практические занятия 13 часов) и самостоятельной работы студентов 82 часа.

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	Одномерная прямая задача МТЗ	10	1-2	2		2		14	Прием практич. заданий
2	Трансформации кривых МТЗ	10	3-4	2		2		14	Прием практич. заданий
3	Построение и S-интерпретация кривых МТЗ	10	5-7	3		3		18	Прием практич. заданий
4	Моделирование МТ-поля в двумерной среде	10	8-10	3		3		18	Прием практич. заданий
5	Моделирование МТ-поля в трёхмерной среде	10	11-13	3		3		18	Прием практич. заданий
Промежуточная аттестация		10							Экзамен
Всего: 3 ЗЕ или 108 часов				13		13		82	

4.2. Содержание дисциплины

(1). Одномерная прямая задача МТЗ

1. Уравнения, описывающие МТ поле в горизонтально-однородной среде.
2. Плоское поле в однородном полупространстве. Длина волны, толщина скин-слоя.
3. Амплитудные и фазовые кривые МТЗ, их связь друг с другом.
4. Рекуррентная формула для расчета импеданса на поверхности слоистой среды.
5. Особенности прямых одномерных задач методов электромагнитного зондирования.

(2). Трансформации кривых МТЗ

1. Определение интегральных характеристик среды по кривым МТЗ.
2. Отличие методов трансформации от методов интерпретации.
3. Трансформация Ниблетта.
4. Трансформации Молочнова – Ле Вьета и Шмукера – Ле Вьета.
5. Связь алгебраических и дифференциальных трансформаций.

(3). Построение и S-интерпретация кривых МТЗ

1. Тензор импеданса, эффективный импеданс.
2. Выбор оптимального параметра сглаживания кривых МТЗ.
3. Гальванические и индукционные искажения кривых МТЗ.
4. Идея метода контролируемой трансформации.

5. Эквивалентные разрезы, зависимости интегральной проводимости от глубины.

(4). Моделирование МТ-поля в двумерной среде

1. Методы решения прямых задач электроразведки, математическое моделирование.
2. Е- и Н-поляризации, механизмы образования аномалий.
3. Постановка краевой задачи, её конечно-разностная аппроксимация.
4. Контроль точности моделирования.
5. Сопоставление Е- и Н-поляризованных, локально-нормальной и фоновой кривых.

(5). Моделирование МТ-поля в трёхмерной среде

1. Особенности трёхмерной прямой задачи магнитотеллурики.
2. Технология работы с программой МТ3DFwd.
3. Анализ параметров неоднородности и асимметрии.
4. Анализ полярных диаграмм и индукционных стрелок.
5. Устойчивость компонент данных к двумерной аппроксимации трёхмерных структур.

4. The structure and content of the discipline

Overall study of the discipline «Forward and inverse problems of magnetotellurics» content is 3 credits or 108 hours, including 26 hours of classes (lectures 13 hours plus practical work 13 hours) and 82 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	1D forward problem of MT soundings	10	1-2	2		2		14	Practical task	
2	Transformations of MT sounding curves	10	3-4	2		2		14	Practical task	
3	Construction and S-interpretation of MT curves	10	5-7	3		3		18	Practical task	
4	2D MT field modeling	10	8-10	3		3		18	Practical task	
5	3D MT field modeling	10	11-13	3		3		18	Practical task	
Intermediate assessment		10							Examination	
In total: 3 credits or 108 hours						13		13		82

4.2. Discipline contents

(1). 1D forward problem of MT soundings

1. Equations of MT field in horizontally-homogeneous medium.
2. Plane wave in a homogeneous half-space. Wavelength, skin depth.

3. Amplitude and phase MT curves, their connection with each other.
4. Recurrent formula for calculation of impedance on the surface of a layered medium.
5. Specifics of 1D forward problems of electromagnetic soundings.

(2). Transformation of MT sounding curves

1. Determination of integral parameters of the medium using MT sounding curves.
2. Difference between transformation and interpretation methods.
3. Niblett transformation.
4. Molochnov – Le Viet and Schmuker – Le Viet transformations.
5. Relation between algebraic and differential transforms.

(3). Construction and S-interpretation of MT curves

1. Impedance tensor, determinant impedance.
2. Selection of an optimal value of MT curve smoothing parameter.
3. Galvanic and inductive distortions of MT curves.
4. The concept of controlled transformation method.
5. Equivalent models, dependence of integral conductance from depth.

(4). 2D MT field modeling

1. Methods for solution of electromagnetic methods forward problems, numerical modeling.
2. TE- and TM-modes, mechanisms of anomalies formation.
3. Boundary problem statement and finite-difference approximation.
4. Modeling accuracy control.
5. Comparison of TE- and TM-polarized, locally normal and background curves.

(5). 3D MT field modeling

1. Features of 3D MT forward problem.
2. Technology of MT3DFwd software application.
3. Analysis of inhomogeneity and asymmetry parameters.
4. Analysis of polar diagrams and induction arrows.
5. Robustness of data components to 2D approximation of 3D structures.

5. Рекомендуемые технологии

При реализации программы дисциплины «Прямые и обратные задачи магнитотеллурики» используются различные образовательные технологии. Аудиторные занятия (26 часов) включают лекции, в том числе интерактивные и с демонстрацией слайдов, а также практические занятия. Самостоятельная работа студентов (82 часа) включает повторение материалов лекций, выполнение практических заданий, а также подготовку к экзамену.

5. Recommended methodology

Different educational technologies are used during the implementation of «Forward and inverse problems of magnetotellurics » discipline program. Class works (26 hours) include lectures, some of which are interactive or with slides demonstration, as well as practical tasks. Independent work of students (82 hours) includes revision of lecture materials, 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. Пушкарев П.Ю., Яковлев А.Г. Одномерная прямая задача МТЗ. М: МГУ, 1999. 17 с.
2. Пушкарев П.Ю., Яковлев А.Г. Трансформации кривых МТЗ. М: МГУ, 1999. 14 с.
3. Пушкарев П.Ю., Яковлев А.Г. Построение и S-интерпретация кривых МТЗ. М: МГУ, 1999. 14 с.
4. Пушкарев П.Ю., Яковлев А.Г. Моделирование МТ-поля в двумерной среде методом конечных разностей. М: МГУ, 1999. 26 с.
5. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М: Научный мир, 2009, 680 с.
6. Жданов М.С. Геофизическая электромагнитная теория и методы. М: Научный мир, 2012. 680 с.
7. Chave A.D., Jones A.G. (Editors). The magnetotelluric method: Theory and practice. Cambridge University Press, 2012. 552 p.
8. Bahr K., Simpson F. Practical magnetotellurics. Cambridge University Press, 2005. 270 p.

в) Программное обеспечение:

с) software and Internet resources:

1. МТ-Corrector – программа редактирования и сглаживания кривых МТЗ;
2. МТS-Pro1 - пакет программ для анализа и S-интерпретации кривых МТЗ;
3. IGF_MТ2D – программа для решения 2D задач магнитотеллурики.
4. МТ3DFwd – программа для решения прямых 3D задач магнитотеллурики.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для материально-технического обеспечения дисциплины «Прямые и обратные задачи магнитотеллурики» 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 «Forward and inverse problems of magnetotellurics » 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)

Решается одномерная прямая задача МТЗ, выполняется трансформация кривых МТЗ, построение и S-интерпретация кривых МТЗ, моделирование МТ-поля в двумерной и трёхмерной среде.

9. Discipline content (annotation)

One-dimensional forward problem of MT sounding is solved, transformation of MT sounding curves is performed, as well as construction and S-interpretation of MT curves and modeling of MT field in two-dimensional and three-dimensional medium.

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

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

Эксперты:

Геологический факультет МГУ (место работы)	доцент (занимаемая должность)	А.А. Бобачев (инициалы, фамилия)
Институт океанологии РАН (место работы)	научный сотрудник (занимаемая должность)	Д.А. Алексеев (инициалы, фамилия)

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

Developers:

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)	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)	associate professor (position)	A.A. Bobachev (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 _____).