

ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Некорректные задачи геофизики

**Рекомендуется для направления подготовки
020700 «Геология», профиль «Геофизика»**

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

DISCIPLINE PLAN

Ill-posed Problems in Geophysics

**Recommended for training programme
020700 «Geology» profile «Geophysics»**

Qualification (degree) of the graduate: Bachelor

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины “Некорректные задачи геофизики” являются понимание основных особенностей обратных задач геофизики и знание приёмов, обеспечивающих их детальное и устойчивое решение. Задачи дисциплины - изучение основных проблем интерпретации геофизических данных и выработка навыков решения обратных задач об определении строения Земли по геофизическим данным с учётом некорректности их классической постановки.

1. Goals and objectives of study

The goals of study of discipline “Ill-posed problems in geophysics” are gaining understanding of the main features of geophysical inverse problems and gaining knowledge of the methods, providing their detailed and stable solutions.

The objectives of discipline are to study the main problems of geophysical data interpretation and to acquire skills to solve inverse problems while investigating the Earth’s structure using geophysical data, taking into account ill-posedness of the classic formulation of inverse problems.

2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина “Некорректные задачи геофизики” относится к вариативной части ООП бакалавриата, к блоку профильной подготовки. Она читается для всех профилизаций профиля “Геофизика”. Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин из базовой и вариативной частей ОПП, блоков общенаучной подготовки (математические дисциплины “Математический анализ”, “Линейная алгебра”, “Дифференциальные уравнения”, “Теория вероятности и математическая статистика”, “Вычислительная математика”) и профильной подготовки (геофизические дисциплины “Теория геофизических полей”, “Магниторазведка”, “Гравиразведка”, “Электроразведка”, “Сейсморазведка”). Освоение дисциплины “Некорректные задачи геофизики” необходимо для дальнейшего изучения дисциплины “Комплексирование геофизических методов” и профильных дисциплин магистерских программ профиля “Геофизика”.

2. Discipline as a part of the curriculum:

The discipline “Ill-posed problems in geophysics” is included into variational part of the bachelors BEP, into the block of profile training. It is studied by all profilizations if the profile “Geophysics”. The discipline is based on knowledge, obtained while studying the disciplines of basic and variational parts of the BEP, block of general scientific preparation (mathematical disciplines “Mathematical analysis”, “Linear algebra”, “Differential equations”, “Probability theory and mathematical statistics”, “Computational mathematics”) and block of profile preparation (geophysical disciplines “Theory of geophysical fields”, “Magnetic prospecting”, “Gravity prospecting”, “Electric and electromagnetic prospecting”, “Seismic prospecting”). Study of the discipline “Ill-posed problems in geophysics” is necessary for further study of the discipline “Integration of geophysical methods” and of the profile disciplines of master’s programs of the profile “Geophysics”.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины “Некорректные задачи геофизики” направлен на формирование элементов следующих компетенций:

универсальных, в том числе:

а) общекультурных (ОК):

- способность к сотрудничеству и партнерству, владение развитой системой философско-мировоззренческих, социокультурных и нравственных ценностей; способность осознавать свою роль и предназначение в разнообразных профессиональных и жизненных ситуациях; умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности (ОК-1);
- способность ориентироваться в социально-экономической проблематике; адаптироваться к новым профессиональным технологиям, социальным явлениям и

процессам, умение переоценивать накопленный опыт, анализировать собственные достижения и перспективы самосовершенствования (ОК-2);

– способность к самореализации, активной жизненной позиции и эффективной профессиональной деятельности; развитию целеустремленности и настойчивости в достижении целей, самостоятельности и инициативности; способность принимать ответственные решения, эффективно действовать в нестандартных обстоятельствах, в ситуациях профессионального риска (ОК-5);

б) общенаучных (ОНК):

– владение фундаментальными разделами математики, необходимыми для решения научно-исследовательских и практических задач в профессиональной области; способность создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные математические результаты, владение знаниями об ограничениях и границах применимости моделей; способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания в области физики (ОНК-6);

в) инструментальных (ИК):

– владение иностранным языком в устной и письменной форме для осуществления коммуникации в учебной, научной, профессиональной и социально-культурной сферах общения; владение терминологией специальности на иностранном языке; умение готовить публикации, проводить презентации, вести дискуссии и защищать представленную работу на иностранном языке (ИК-2);

– владение навыками использования программных средств и работы в компьютерных сетях, использования ресурсов Интернет; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации (ИК-3);

– способность использовать современную вычислительную технику и специализированное программное обеспечение в научно-исследовательской работе (ИК-5);

г) системных (СК):

– способность к творчеству, порождению инновационных идей, выдвижению самостоятельных гипотез (СК-1);

– способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации, к постановке целей исследования и выбору оптимальных путей и методов их достижения (СК-2);

– способность к самостоятельному обучению и разработке новых методов исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля деятельности; к инновационной научно-образовательной деятельности (СК-3);

профессиональных (ПК):

– способность глубоко осмысливать и формировать диагностические решения проблем геологии путем интеграции фундаментальных разделов геологии, геофизики, геохимии, гидрогеологии и инженерной геологии, геологии горючих ископаемых, экологической геологии и специализированных геологических знаний (ПК-2);

– способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-3);

– готовность в составе научно-исследовательского коллектива участвовать в составлении отчетов, рефератов, библиографий и обзоров по тематике научных исследований, в подготовке докладов и публикаций (ПК-4);

– способность применять на практике методы сбора, обработки, анализа и обобщения фондовой, полевой и лабораторной геологической информации (ПК-5);

– способность применять на практике базовые общепрофессиональные знания теории и методов геологических исследований при решении научно-производственных задач (ПК-7);

– умение использовать углубленные специализированные профессиональные теоретические и практические знания для проведения научных фундаментальных и прикладных исследований (ПК-8);

- способность свободно и творчески пользоваться современными методами обработки и интерпретации комплексной геологической, геофизической, геохимической, гидрогеологической, инженерно-геологической, геокриологической, нефтегазовой и эколого-геологической информации для решения научных и практических задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности (ПК-11);
- готовность к использованию практических навыков организации и управления научно-исследовательскими и научно-производственными работами при решении фундаментальных и прикладных геологических задач (ПК-12).

В результате освоения дисциплины “Некорректные задачи геофизики” обучающийся должен:

знать: классическую и условно-корректную постановку обратных задач геофизики; теорию регуляризованного решения обратных задач; теоретические основы методов решения линейных и нелинейных задач;

уметь: построить класс геофизических моделей Земли, в котором будет выполняться поиск решения обратной задачи; определить наилучший способ стабилизации решения обратной задачи; выбрать оптимальные методы минимизации невязки модельных и наблюдаемых данных с учётом априорных ограничений на геофизическую модель;

владеть: подходами к параметризации геофизических моделей; приёмами построения стабилизирующего функционала и выбора параметра регуляризации; методами минимизации Тихоновского функционала; основными терминами на английском языке.

3. Discipline requirements:

The result of studying the discipline “Ill-posed problems in geophysics” is the formation of the following competences:

Universal competencies:

a) cultural (social and personal):

- ability to cooperation and partnership, awareness of the advanced system of philosophical and ideological, social, cultural and moral values, the ability to understand their role and purpose in various professional and life situations, the ability to use regulatory instruments in their work (GC-1);
- the ability to navigate in social and economic issues; adapt to new professional technologies, social phenomena and processes, the ability to re-evaluate the accumulated experience, to analyze their own achievements and prospects of self-improvement (GC-2);
- the ability to self-realization, active life position and effective professional activity; development of determination and perseverance in achieving the objectives, independence and initiative; ability to make decisions, to act effectively in unusual circumstances, in situations of occupational risk (GC-5);

b) general science:

- understanding of the fundamental sections of Mathematics, necessary for solving scientific and practical problems in the professional field; ability to create mathematical models of typical professional tasks and interpret mathematical results, the control of knowledge about the restrictions and limits of the models applicability; the ability to use fundamental Physics in the professional activities (GSC-6);

c) instrumental:

- foreign language skills in oral and written form for communication in academic, scientific, professional and socio-cultural spheres of communication, the possession of special terminology in a foreign language, the ability to prepare publications, presentations, discuss and defend the submitted work in a foreign language (IC-2);
- possession of skills in use of software tools and work in computer networks, the use of Internet resources, the possession of the principal methods, ways and means of obtaining, storing and processing of information (IC-3);

- the ability to use modern computer equipment and specialized software in the research work (IC-5);

d) system:

- creativity, the generation of innovative ideas, the nomination of independent hypotheses (SC-1);

- the ability for the search, critical analysis, generalization and systematization of scientific information, to the formulation of the study purpose and choice of optimal ways and methods of their achievement (SC-2);

- the ability for independent study and the development of new methods of research, changes in the scientific and scientific-production activity profile; innovative scientific and educational activities (SC-3);

Professional competencies:

- the ability to deeply comprehend and generate diagnostic decisions of problems of Geology integrating fundamental branches of Geology, Geophysics, Geochemistry, Hydrogeology and engineering Geology, Geology of fossil fuels, environmental Geology and specialized geological knowledge (PC-2);

- the ability to independently set specific research tasks and solve them with means of modern facilities, equipment, information technology, with the latest national and international experience (PC-3);

- readiness to be involved in the preparation of reports, essays, bibliography and reviews on the subject of research, preparation of reports and publications within the research team (PC-4);

- the ability to apply in practice the methods of collection, processing, analysis and synthesis of the fund, field and laboratory geological and geophysical data (PC-5);

- the ability to practice basic general professional knowledge of the theory of geological research methods in solving scientific and industrial problems (PC-7);

- the ability to use specialized professional extended theoretical and practical knowledge to carry out fundamental and applied scientific research (PC-8);

- the ability to freely and creatively use the modern methods of processing and interpretation of complex geophysical information to solve scientific and practical problems, including those beyond the immediate sphere of activity (PC-11);

- willingness to use practical skills of organization and management of scientific-research and scientific-production works for solution of fundamental and applied geological tasks (PC-12).

As a result of studying the discipline “Ill-posed problems in geophysics” students must:

know: classic (Hadamard’s) and conditional (Tikhonov’s) statement of geophysical inverse problems; theory of regularized solution of inverse problems; theoretical background of methods for solution of linear and non-linear problems;

be able to: to construct a class of models of the Earth, within which a solution of inverse problem will be searched; to determine the best way of stabilization of inverse problem; to choose optimal methods of minimization of misfit between modelled and observed data taking into the account prior geophysical model constraints;

master: approaches to parameterization of geophysical models; ways to construct stabilizing functional and select regularization parameter; methods for minimization of Tikhonov’s functional; basic terms in English.

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины “Некорректные задачи геофизики” составляет 2 зачётные единицы или 72 часа, в том числе аудиторной нагрузки 42 часа (лекции 28 часов и семинары 14 часов) и самостоятельной работы студентов 30 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	Математические основы	7	1-2	6				6	Контрольная работа
2	Введение в теорию обратных задач	7	3-6	8	4			8	Контрольная работа
3	Методы решения обратных задач	7	7-10	8	4			8	Контрольная работа
4	Примеры решения некорректных задач в геофизике	7	11-14	6	6			8	Контрольная работа
5	Промежуточная аттестация	7							Экзамен
Всего: 2 ЗЕ или 72 часа				28	14			30	

4.2 Содержание дисциплины

(1) Математические основы

(1.1) Введение

О курсе «Некорректные задачи геофизики». Постановка прямых и обратных задач геофизики. Основная и дополнительная литература.

(1.2) Евклидово пространство, функциональные пространства

Евклидово пространство, норма вектора. Линейные операторы в евклидовом пространстве. Норма оператора в евклидовом пространстве. Линейные функционалы в евклидовом пространстве. Метрическое пространство. Линейное и нормированное линейное пространства. Гильбертово пространство. Примеры функциональных пространств.

(1.3) Линейные операторы и функционалы в функциональных пространствах

Линейные операторы в функциональных пространствах. Обратные операторы. Постановка задачи приближения геофизических данных. Функционалы в функциональных пространствах. Сопряжённые операторы. Дифференцирование операторов и функционалов. Типы минимумов функционала.

(2) Введение в теорию обратных задач

(2.1) Прямые и обратные задачи в геофизике: постановка и особенности

Постановка прямых и обратных задач, три вопроса Адамара. Примеры формулировки прямых и обратных задач геофизики. Существование решения обратной задачи. Единственность решения обратной задачи. Неустойчивость решения обратной задачи. Чувствительность геофизических методов. Разрешающая способность геофизических методов.

(2.2) Основы теории регуляризации

Условно-корректная постановка обратных задач. Регуляризирующие операторы. Стабилизирующие функционалы. Функционал Тихонова. Стабилизаторы, использующие априорную модель. Сглаживающие стабилизаторы. Функционал с минимальным носителем градиента. Выбор оптимального параметра регуляризации.

(3) Методы решения обратных задач

(3.1) Линейные дискретные обратные задачи

Сведение линейной дискретной задачи к решению СЛАУ. Решение переопределённой задачи методом наименьших квадратов (МНК). Решение недоопределённой задачи. Использование весовых коэффициентов в линейной дискретной задаче. Метод регуляризации линейной дискретной задачи. Основные понятия и формулы теории вероятностей. Метод максимального правдоподобия.

(3.2) Итерационные методы решения линейных обратных задач

Прямые и итерационные методы решения СЛАУ. Теория метода минимальных невязок (ММН). Применение ММН для решения уравнения Эйлера. Применение ММН для решения уравнения обратной задачи. Уравнения для регуляризованной линейной задачи. Решение уравнения Эйлера для Тихоновского функционала методом ММН. Решение уравнения обратной регуляризованной задачи методом ММН.

(3.3) Методы решения нелинейных обратных задач

Нелинейные обратные задачи. Метод скорейшего спуска (МСС). Выбор длины итерационного шага в МСС. Вычислительная схема МСС. Метод Ньютона. Метод Ньютона с поиском по направлению. Метод сопряжённых градиентов (МСГ). О регуляризованных методах решения нелинейных задач.

(4) Примеры решения некорректных задач в геофизике

(4.1) Примеры решения некорректных задач в гравимагниторазведке

Постановка прямых и обратных задач в гравиметрии и магнитометрии. Специфика корректности обратных задач в гравимагниторазведке. Роль априорной информации при решении обратных задач. Задача о продолжении потенциального поля в сторону источников. Обратные задачи гравиразведки, сводящиеся к интегральному уравнению Фредгольма 1-го рода типа свертки. Определение формы тела по гравиметрическим данным. Вычисление распределения плотности для системы тел. Пересчет магнитного поля к полюсу с использованием алгоритма регуляризации. Методы решения структурных задач в гравиметрии и магнитометрии.

(4.2) Примеры решения некорректных задач в электроразведке

Электроразведочные данные и методы их анализа. Классификация геоэлектрических моделей. Методы решения прямых задач электроразведки. О совместной интерпретации электрических и индукционных зондирований. Принцип дополнительности в магнитотеллурике.

4. The structure and content of the discipline:

Overall study content of the discipline “Ill-posed problems in geophysics” is 2 credits or 72 hours, including 42 hours of class work (28 hours of lectures and 14 hours of seminars) and 30 hours of independent work of students.

4.2 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	Mathematical background	7	1-2	6				6	Written test
2	Introduction into theory of inverse problems	7	3-6	8	4			8	Written test
3	Methods for solution of inverse problems	7	7-10	8	4			8	Written test
4	Examples of ill-posed problems solution in geophysics	7	11-14	6	6			8	Written test
5	Intermediate assessment	7							Examination
In total: 2 credits or 72 hours				28	14			30	

4.2 Discipline content

(1) Mathematical background

(1.1) Introduction

About the discipline “Ill-posed problems in geophysics”. Statement of forward and inverse geophysical problems. Basic and additional literature.

(1.2) Euclidean space, functional spaces

Euclidean space, vector norm. Linear operators in Euclidean space. Operator norm in Euclidean space. Linear functionals in Euclidean space. Metric space. Linear and normed linear spaces. Hilbert space. Examples of functional spaces.

(1.3) Linear operators and functionals in functional spaces

Linear operators in functional spaces. Inverse operators. Statement of the problem of geophysical data approximation. Functionals in functional spaces. Conjugate operators. Differentiation of operators and functionals. Types of functional minimums.

(2) Introduction into theory of inverse problems

(2.1) Forward and inverse problems in geophysics: statement and special features

Statement of forward and inverse problems, three questions of Hadamard. Examples of formulation of geophysical forward and inverse problems. Existence of a solution of inverse problem. Uniqueness of a solution of inverse problem. Instability of a solution of inverse problem. Sensitivity of geophysical methods. Resolution of geophysical methods.

(2.2) Basics of the regularization theory

Tikhonov’s statement of inverse problems. Regularizing operators. Stabilizing functionals. Tikhonov’s functional. Stabilizers, based on use of prior model. Smoothing stabilizers. Functional with minimal gradient support. Selection of optimal regularization parameter.

(3) Methods for solution of inverse problems

(3.1) Linear discrete inverse problems

Reduction of linear discrete problem to a solution of linear equations system. Solution of overdetermined problem using least squares method. Solution of underdetermined problem. Usage of weight coefficients in linear discrete problem. Method of regularization of linear discrete problem. Basic notations and formulas of probability theory. Method of maximal likelihood.

(3.2) Iterative methods for solution of linear inverse problems

Direct and iterative methods of linear equation systems solution. Theory of minimal residual (MR) method. Application of MR method to solve Euler's equation. Application of MR method to solve inverse problem equation. Equations for regularized linear problem. Solution of Euler's equation for Tikhonov's functional using MR method. Solution of inverse regularized problem equation using MR method.

(3.3) Methods for solution of non-linear problems

Non-linear inverse problems. Method of steepest descent (MSD). Selection of iteration step length in MSD. Computational scheme of MSD. The Newton method. The Newton method with the line search. The conjugate gradient method. Regularized methods of non-linear problems solution.

(4) Examples of ill-posed problems solution in geophysics

(4.1) Examples of ill-posed problems solution in gravity and magnetic prospecting

Statement of forward and inverse problems in gravity and magnetic prospecting. Specifics of ill-posed problems in gravity and magnetic prospecting. Role of prior information in the solution of inverse problems. Problem of potential field continuation to the sources. Inverse problem of gravity prospecting reduced to integral Fredholm equation of the 1st kind of convolution type. Determination of body shape using gravity data. Calculation of distribution of density for a system of bodies. Recalculation of magnetic field to a pole using regularization algorithm. Methods for solution of structural tasks in gravity and magnetic prospecting.

(4.2) Examples of ill-posed problems solution in electromagnetic prospecting

Electromagnetic data and methods for their analysis. Classification of resistivity models. Methods for solution of forward electromagnetic problems. Integrated interpretation of electric and induction soundings. Principle of complementarity in magnetotellurics.

5. Рекомендуемые технологии

При реализации программы дисциплины “Некорректные задачи геофизики” используются различные образовательные технологии. Аудиторные занятия (42 часа) включают лекции, в том числе интерактивные и с демонстрацией слайдов, а также несколько семинаров. Самостоятельная работа студентов (30 часов) включает подготовку к небольшим контрольным работам по четырём разделам дисциплины, а также подготовку к экзамену.

5. Recommended methodology

Different educational technologies are used during the implementation of “Ill-posed problems in geophysics” discipline program. Class works (42 hours) include lectures, some of which are interactive or with slides demonstration, and several seminars. Independent work of students (30 hours) includes preparation to small written tests on four parts of the discipline and preparation to the examination.

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

Для стимулирования самостоятельной работы студентов в течение всего семестра, по завершении каждого из четырёх разделов дисциплины проводится небольшая письменная контрольная работа. Успешно написавшие контрольные работы студенты допускаются к экзамену. Список вопросов к экзамену почти полностью соответствует заголовкам подразделов дисциплины:

- (1) Евклидово пространство, норма вектора.

- (2) Линейные операторы в евклидовом пространстве.
- (3) Норма оператора в евклидовом пространстве.
- (4) Линейные функционалы в евклидовом пространстве.
- (5) Метрическое пространство.
- (6) Нормированное линейное пространство.
- (7) Гильбертово пространство.
- (8) Примеры функциональных пространств.
- (9) Линейные операторы в функциональных пространствах.
- (10) Обратные операторы.
- (11) Постановка задачи приближения геофизических данных.
- (12) Функционалы в функциональных пространствах.
- (13) Сопряжённые операторы.
- (14) Дифференцирование операторов и функционалов.
- (15) Типы минимумов функционала.
- (16) Постановка прямых и обратных задач, три вопроса Адамара.
- (17) Примеры формулировки прямых и обратных задач геофизики.
- (18) Существование решения обратной задачи.
- (19) Единственность решения обратной задачи.
- (20) Неустойчивость решения обратной задачи.
- (21) Чувствительность геофизических методов.
- (22) Разрешающая способность геофизических методов.
- (23) Условно-корректная постановка обратных задач.
- (24) Регуляризирующие операторы.
- (25) Стабилизирующие функционалы.
- (26) Функционал Тихонова.
- (27) Стабилизаторы, использующие априорную модель.
- (28) Сглаживающие стабилизаторы.
- (29) Функционал с минимальным носителем градиента.
- (30) Выбор оптимального параметра регуляризации.
- (31) Сведение линейной дискретной задачи к решению СЛАУ.
- (32) Решение переопределённой задачи методом наименьших квадратов (МНК).
- (33) Решение недоопределённой задачи.
- (34) Использование весовых коэффициентов в линейной дискретной задаче.
- (35) Метод регуляризации линейной дискретной задачи.
- (36) Основные понятия и формулы теории вероятностей.
- (37) Метод максимального правдоподобия.
- (38) Прямые и итерационные методы решения СЛАУ.
- (39) Теория метода минимальных невязок (ММН).
- (40) Применение ММН для решения уравнения Эйлера.
- (41) Применение ММН для решения уравнения обратной задачи.
- (42) Уравнения для регуляризованной линейной задачи.
- (43) Решение уравнения Эйлера для Тихоновского функционала методом ММН.
- (44) Решение уравнения обратной регуляризованной задачи методом ММН.
- (45) Нелинейные обратные задачи.
- (46) Метод скорейшего спуска (МСС).
- (47) Выбор длины итерационного шага в МСС.
- (48) Вычислительная схема метода скорейшего спуска.
- (49) Метод Ньютона.
- (50) Метод Ньютона с поиском по направлению.
- (51) Метод сопряжённых градиентов (МСГ).
- (52) О регуляризованных методах решения нелинейных задач.
- (53) Постановка прямых и обратных задач в гравиметрии и магнитометрии.
- (54) Специфика корректности обратных задач в гравимагниторазведке. Роль априорной информации при решении обратных задач.

- (55) Задача о продолжении потенциального поля в сторону источников.
- (56) Обратные задачи гравirazведки, сводящиеся к интегральному уравнению Фредгольма 1-го рода типа свертки.
- (57) Определение формы тела по гравиметрическим данным.
- (58) Вычисление распределения плотности для системы тел.
- (59) Пересчет магнитного поля к полюсу с использованием алгоритма регуляризации.
- (60) Методы решения структурных задач в гравиметрии и магнитометрии.
- (61) Электроразведочные данные и методы их анализа.
- (62) Классификация геоэлектрических моделей.
- (63) Методы решения прямых задач электроразведки.
- (64) О совместной интерпретации электрических и индукционных зондирований.
- (65) Принцип дополнительности в магнитотеллурике.

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

For the stimulation of independent work of students during the whole semester, after each of the four parts of the discipline a small written test is conducted. Those who successfully pass these tests are allowed to take the examination. The list of questions for the examination almost completely corresponds to titles of the subsections of the discipline:

- (1) Euclidean space, vector norm.
- (2) Linear operators in Euclidean space.
- (3) Operator norm in Euclidean space.
- (4) Linear functionals in Euclidean space.
- (5) Metric space.
- (6) Linear and normed linear spaces.
- (7) Hilbert space.
- (8) Examples of functional spaces.
- (9) Linear operators in functional spaces.
- (10) Inverse operators.
- (11) Statement of the problem of geophysical data approximation.
- (12) Functionals in functional spaces.
- (13) Conjugate operators.
- (14) Differentiation of operators and functionals.
- (15) Types of functional minimums.
- (16) Statement of forward and inverse problems, three questions of Hadamard.
- (17) Examples of formulation of geophysical forward and inverse problems.
- (18) Existence of a solution of inverse problem.
- (19) Uniqueness of a solution of inverse problem.
- (20) Instability of a solution of inverse problem.
- (21) Sensitivity of geophysical methods.
- (22) Resolution of geophysical methods.
- (23) Tikhonov's statement of inverse problems.
- (24) Regularizing operators.
- (25) Stabilizing functionals.
- (26) Tikhonov's functional.
- (27) Stabilizers, based on use of prior model.
- (28) Smoothing stabilizers.
- (29) Functional with minimal gradient support.
- (30) Selection of optimal regularization parameter.
- (31) Reduction of linear discrete problem to a solution of linear equations system.
- (32) Solution of overdetermined problem using least squares method.
- (33) Solution of underdetermined problem.
- (34) Usage of weight coefficients in linear discrete problem.
- (35) Method of regularization of linear discrete problem.

- (36) Basic notations and formulas of probability theory.
- (37) Method of maximal likelihood.
- (38) Direct and iterative methods of linear equation systems solution.
- (39) Theory of minimal residual (MR) method.
- (40) Application of MR method to solve Euler's equation.
- (41) Application of MR method to solve inverse problem equation.
- (42) Equations for regularized linear problem.
- (43) Solution of Euler's equation for Tikhonov's functional using MR method.
- (44) Solution of inverse regularized problem equation using MR method.
- (45) Non-linear inverse problems.
- (46) Method of steepest descent (MSD).
- (47) Selection of iteration step length in MSD.
- (48) Computational scheme of MSD.
- (49) The Newton method.
- (50) The Newton method with the line search.
- (51) The conjugate gradient method.
- (52) Regularized methods of non-linear problems solution.
- (53) Statement of forward and inverse problems in gravity and magnetic prospecting.
- (54) Specifics of ill-posed problems in gravity and magnetic prospecting. Role of prior information in the solution of inverse problems.
- (55) Problem of potential field continuation to the sources.
- (56) Inverse problem of gravity prospecting reduced to integral Fredholm equation of the 1st kind of convolution type.
- (57) Determination of body shape using gravity data.
- (58) Calculation of distribution of density for a system of bodies.
- (59) Recalculation of magnetic field to a pole using regularization algorithm.
- (60) Methods for solution of structural tasks in gravity and magnetic prospecting.
- (61) Electromagnetic data and methods for their analysis.
- (62) Classification of resistivity models.
- (63) Methods for solution of forward electromagnetic problems.
- (64) Integrated interpretation of electric and induction soundings.
- (65) Principle of complementarity in magnetotellurics.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

7. Methodological and informational support:

а) основная литература:

а) primary list of books:

- Тихонов А.Н., Дмитриев В.И., Гласко В.Б. Математические методы в разведке полезных ископаемых. М.: Знание, 1983. 64 с.
- Дмитриев В.И. (редактор). Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике: Справочник геофизика. М.: Недра, 1990. 498 с.
- Жданов М.С. Теория обратных задач и регуляризации в геофизике. М.: Научный мир, 2007. 712 с.
- Дмитриев В.И. Обратные задачи геофизики. М.: МАКС Пресс, 2012. 340 с.

б) дополнительная литература:

б) secondary list of books (bibliography):

- Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 288 с.
- Яновская Т.Б., Порохова Л.Н. Обратные задачи геофизики. Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. 210 с.
- Tarantola A. Inverse problem theory. Amsterdam – Oxford - New York - Tokyo: Elsevier, 1987. 613 p.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

с) software and Internet-resources:

- http://www.agora.guru.ru/display.php?conf=geophysical_seminar - сайт научно-образовательного семинара «Математическое моделирование геофизических процессов: прямые и обратные задачи».
- <http://www.inverse-problems.net/> - сайт Международной ассоциации по обратным задачам.
- <http://mtnet.dias.ie/main/> - сайт магнитотеллурического сообщества.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для материально-технического обеспечения дисциплины «Некорректные задачи геофизики» используются аудитории и библиотека геологического факультета МГУ.

8. Necessary facilities and equipment

For the material and technical support of the discipline “Ill-posed problems in geophysics” lecture rooms and the library of the Faculty of geology of MSU are used.

9. Краткое содержание дисциплины (аннотация)

Рассмотрен математический аппарат, лежащий в основе решения некорректных задач геофизики, вводятся функциональные пространства, линейные операторы и функционалы. Обсуждается постановка и прямых и обратных задач в геофизике, излагаются основы теории регуляризации. Рассматриваются различные итерационные методы решения линейных и нелинейных обратных задач. Приводятся примеры решения некорректных задач в гравиметрии, магниторазведке и электроразведке.

9. Discipline content (annotation)

Mathematical tools, used to solve ill-posed problems of geophysics, are considered, functional spaces, linear operators and functionals are introduced. Statement of forward and inverse problems of geophysics is discussed, regularization theory basics are presented. Different iterative methods for solution of linear and non-linear inverse problems are considered. Examples of solution of ill-posed problems in gravity, magnetic and electromagnetic prospecting are given.

10. Учебно-методические рекомендации для обеспечения самостоятельной работы студентов

Темы для самостоятельной работы студентов

Обратные задачи геотермики:

- Постановка задачи реконструкции палеоклимата;
- Редукция задачи к интегральному уравнению;
- Решение обратной задачи.

Обратные задачи гравиметрии и магнитометрии:

- Математические модели гравиметрии и магнитометрии;
- Продолжение гравитационного поля;
- Определение неоднородности по гравитационному полю.

Обратные задачи электроразведки на постоянном токе:

- Обратная задача вертикального электрического зондирования;
- Одномерная обратная задача ВЭЗ;
- Вертикальное электрическое зондирование квазислоистых сред;
- Электрическое зондирование неоднородных сред.

Обратные задачи геоэлектрики:

- Обратная задача магнитотеллурического зондирования;
- Одномерная обратная задача МТЗ;
- Устойчивость определения интегральной проводимости;
- Квазиодномерный метод решения обратной задачи МТЗ;
- Двумерная обратная задача МТЗ, бимодальный метод;
- Трёхмерная обратная задача МТЗ;
- Магнитовариационная обратная задача;

- Многокритериальные обратные задачи геоэлектрики.
- Обратные задачи электромагнитных зондирований:
 - Частотное зондирование слоистых сред;
 - Электромагнитное поле в дальней зоне;
 - Обратная задача частотного зондирования слоистой среды;
 - Трехмерная обратная задача электромагнитного зондирования локальным источником;
 - Квазитрехмерные обратные задачи электромагнитных зондирований;
 - Обратные задачи электромагнитной аэроразведки.

10. Educational and methodological recommendations for self-study

Topics for independent work of students

Inverse problems of geothermics:

- Statement of the problem of palaeoclimate reconstruction;
- Reduction of the problem to integral equation;
- Solution of the inverse problem.

Inverse problems of gravity and magnetic prospecting:

- Mathematical models of gravity and magnetic prospecting;
- Continuation of gravitational field;
- Estimation of inhomogeneity using gravitational field.

Inverse problems of electric prospecting:

- Inverse problem of vertical electric sounding (VES);
- One-dimensional inverse problem of VES;
- VES of quasi-layered mediums;
- Electrical sounding of inhomogeneous mediums.

Inverse problems of geoelectrics:

- Inverse problem of magnetotelluric sounding (MTS);
- One-dimensional inverse problem of MTS;
- Stability of estimation of integral conductance;
- Quasi-one-dimensional method of MTS inverse problem solution;
- Two-dimensional inverse problem of MTS, bimodal method;
- Three-dimensional problems of MTS;
- Magnetovariational inverse problem;
- Multi-criterion inverse problems of geoelectrics.

Inverse problems of electromagnetic soundings:

- Frequency sounding of layered mediums;
- Far-zone electromagnetic field;
- Inverse problem of a frequency sounding of layered medium;
- Three-dimensional inverse problem of electromagnetic sounding using local source;
- Quasi-three-dimensional inverse problems of electromagnetic soundings;
- Inverse problems of airborne electromagnetic prospecting.

Разработчики:

Факультет ВМиК МГУ, профессор
8(495)939-5426, 8(910)456-6135, dmitriev@cs.msu.su

Дмитриев В.И.

Геологический факультет МГУ, доцент
8(495)939-4912, 8(905)703-7950, pavel_pushkarev@list.ru

Пушкарев П.Ю.

Геологический факультет МГУ, доцент
8(495)939-3013, 8(916)846-4721, ivanlygin@mail.ru

Лыгин И.В.

Эксперты:

Геологический факультет МГУ, профессор

Шевнин В.А.

ЦГЭМИ ИФЗ РАН, директор

Варенцов Ив.М.

Программа одобрена на заседании Ученого совета геологического факультета МГУ
(протокол №_____ от_____)

Developers:

Computational mathematics faculty of MSU, professor
8(495)939-5426, 8(910)456-6135, dmitriev@cs.msu.su

Dmitriev V.I.

Geological faculty of Moscow State University, associate professor
8(495)939-4912, 8(905)703-7950, pavel_pushkarev@list.ru

Pushkarev P.Yu.

Geological faculty of Moscow State University, associate professor
8(495)939-3013, 8(916)846-4721, ivanlygin@mail.ru

Lygin I.V.

Experts:

Geological faculty of Moscow State University, professor

Shevnin V.A.

GEMRC IPE RAS, director

Varentsov Iv.M.

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