

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ

**Декан Геологического факультета
академик**

_____ /Д.Ю.Пушаровский/

«___» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Некорректные задачи геофизики

Авторы-составители: Дмитриев В.И., Пушкарев П.Ю., Лыгин И.В.

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Геофизика

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № _____, _____)

Москва 20__

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 года № 1674.

Год приема на обучение – 2016.

Цель и задачи дисциплины

Целью курса «Некорректные задачи геофизики» является получение знаний об основных особенностях обратных задач геофизики и приемах, обеспечивающих их детальное и устойчивое решение.

Задачи - 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. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный цикл, курс – IV, семестр – 7.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Математический анализ», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теория вероятности и математическая статистика», «Вычислительная математика», «Теория геофизических полей», «Магниторазведка», «Гравиразведка», «Электроразведка», «Сейморазведка».

3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

ОПК-3.Б Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично);

ОПК-4.Б Способность применять знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественно-научного и математического циклов при решении стандартных профессиональных задач (формируется частично);

ПК-2.Б Способность использовать знание теоретических основ фундаментальных геологических дисциплин при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности (формируется частично)

СПК-1.Б Способность использовать специализированные знания в области разведочной геофизики при моделировании геофизических полей для сложно-построенных физико-геологических моделей геологических сред, в том числе и в случае трехмерных (формируется частично).

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

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; приемами построения стабилизирующего функционала и выбора параметра регуляризации; методами минимизации Тихоновского функционала.

4. Формат обучения – лекционные и семинарские занятия.

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе 42 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (21 час – занятия лекционного типа, 21 час – занятия семинарского типа), 30 академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

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 гравиразведке, магниторазведке и электроразведке.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Математические основы		4		6	10	
Раздел 2. Введение в теорию обратных задач		6		4	10	Контрольная работа, 5 часов
Раздел 3. Методы решения обратных задач		5		5	10	Контрольная работа, 5 часов
Раздел 4. Примеры решения некорректных задач геофизики		6		6	12	Контрольная работа, 5 часов
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>						15 часов
Итого	72			42		30

Содержание разделов 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 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.

(4.2) 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.

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Примерный перечень контрольных вопросов при проведении контрольных работ и промежуточной аттестации (экзамен):

- (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) Электроразведочные данные и методы их анализа.
- (54) Классификация геоэлектрических моделей.
- (55) Методы решения прямых задач электроразведки.
- (56) О совместной интерпретации электрических и индукционных зондирований.
- (57) Принцип дополнительности в магнитотеллурике.
- (58) Постановка прямых и обратных задач в гравиметрии и магнитометрии.
- (59) Специфика корректности обратных задач в гравимагниторазведке. Роль априорной информации.
- (60) Задача о продолжении потенциального поля в сторону источников.
- (61) Обратные задачи гравиразведки, сводящиеся к интегральному уравнению Фредгольма 1-го рода.
- (62) Определение формы тела по гравиметрическим данным.
- (63) Вычисление распределения плотности для системы тел.
- (64) Расчет намагниченности в слое по данным многоуровневых магнитометрических съёмки.
- (65) Методы решения структурных задач в гравиметрии и магнитометрии.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Результаты Обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: классической и условно-корректной постановки обратных задач геофизики; теории регуляризованного решения обратных задач; теоретических основ методов решения линейных и нелинейных задач	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: 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	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности не принципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение
Владения: подходами к параметризации геофизических моделей; приёмами построения стабилизирующего функционала и выбора параметра регуляризации; методами минимизации Тихоновского функционала	Навыки владения методами отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки использования методов	Владение методами, использование их для решения задач

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

- 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.-
дополнительная литература:
- 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.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватели – Пушкарев П.Ю., Лыгин И.В.

11. Авторы программы – Дмитриев В.И., Пушкарев П.Ю., Лыгин И.В.