

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

УТВЕРЖДАЮ
И.О. декана Геологического факультета
чл.-корр. РАН _____/Н.Н.Еремин/
«___» _____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Гравirazведка

Gravity prospecting

Авторы-составители: проф. А.А. Булычев, доц. И.В. Лыгин, доц. К.М. Кузнецов, асс. А.А.
Фадеев

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 2022

Рабочая программа дисциплины 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*).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова от ____
_____ 2022 года (протокол №__).

Год приема на обучение: 2022

Цель и задачи дисциплины

Цель курса «Гравиразведка» состоит в теоретическом освоении основных методов интерпретации аномалий силы тяжести и определение возможности и роли метода при решении геологических задач.

Задачи - приобретение навыков геофизической и геологической интерпретации аномального гравитационного поля.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В курсе «Гравиразведка» рассматриваются основы математических методов интерпретации гравитационных аномалий: понятие прямой и обратной задачи гравиразведки, гравитационные поля разных типов земной коры, способы выделения полезного сигнала, неоднозначность решения обратной задачи, методы решения прямой и обратной задач гравиразведки.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП – относится к профильному блоку вариативной части ОПОП, является обязательной для освоения. Курс – III, семестр – 6.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

базируется на знаниях по дисциплинам «Высшая математика», «Математический анализ», «Аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Дифференциальные уравнения», «Теория вероятности и математическая статистика», «Физика», «Информатика», «ГИС в геологии», «ГИС в геофизике», «Вычислительная математика», «Уравнения математической физики», «Историческая геология», «Структурная геология и геокартирование», «Геология полезных ископаемых», «Основы гравиразведки и магниторазведки», «Магниторазведка», «Электроразведка», «Сейсморазведка».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине, сопряженные с компетенциями
ОПК-1.Б. Способен применять знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественно-научного и математического циклов при решении стандартных профессиональных задач (реализуется частично).	Б.ОПК-1. И-2. Использует базовые знания фундаментальных разделов наук о Земле в профессиональной деятельности.	Знать: Взаимосвязь особенностей аномального гравитационного поля с особенностями распределения плотностных неоднородностей в геологическом разрезе; Уметь: сопоставлять аномалии поля силы тяжести со структурными особенностями геологического разреза; Владеть: навыками выделения компонент гравитационного поля, приуроченных к характерным элементам геологического разреза.
ОПК-3.Б. Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (реализуется частично).	Б.ОПК-3. И-3. Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной	Знать: теоретические основы интерпретации аномалий силы тяжести; Уметь: строить карты аномалий силы тяжести, пользоваться методами и программами для интерпретации аномальных гравитационных полей; Владеть: методами геофизической и геологической интерпретации аномального

	деятельности в соответствии с профилем подготовки.	гравитационного поля с применением современного вычислительного программного обеспечения.
ОПК-6.Б. Способен использовать в профессиональной деятельности информационно-коммуникационные технологии, в т.ч. ГИС-технологии (реализуется частично).	Б.ОПК-6. И-2. Пользуется стандартными программными продуктами в области ГИС-технологий для обработки и визуализации геологических данных.	Знать: специализированные программные комплексы, предназначенные для визуализации профильных и площадных данных о гравитационном поле; Уметь: совместно визуализировать гравиметрические данные с результатами других геолого-геофизических исследований; Владеть: первичными навыками совместного анализа гравиметрических материалов и иной геолого-геофизической информации.
СПК-1.Б. Способен решать задачи в области разведочной геофизики при моделировании геофизических полей для сложно-построенных физико-геологических моделей геологических сред, в том числе трехмерных (реализуется частично).	Б.СПК-1. И-1. Владеет методами решения прямых задач геофизики для сред различной размерности	Знать: способы решения прямой задачи гравиразведки; Уметь: выбрать оптимальный способ решения прямой задачи гравиразведки; Владеть: основными методами вычисления прямых гравитационных эффектов с использованием современного вычислительного программного обеспечения.

4. Объем дисциплины составляет **3** з.е., в том числе **52** академических часа на контактную работу обучающихся с преподавателем (26 часов лекций, 13 часов семинаров, 13 часов лабораторных занятий), **56** академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

5. Формат обучения не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.)

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, Форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы</i>				Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	Расчетно-графические работы	Работа с литературой (включая подготовку доклада)	Подготовка реферата	Подготовка к контрольному опросу	Всего
Раздел 1. Введение. Цели и задачи курса	2	2			2					
Раздел 2. Петрофизические основы гравirazведки. Гравитационное поле и плотностные модели земной коры.	18	4	2	2	8	6			4	10
Раздел 3. Прямая задача гравirazведки. Основные интегральные соотношения.	16	2	2	2	6	6			4	10
Раздел 4. Методы разделения потенциальных полей. Разделение полей как процесс частотной фильтрации.	22	6	2	4	12	6			4	10
Раздел 5. Решение обратной задачи для изолированных аномальных объектов. Интегральные способы.	20	4	4	2	10	6			4	10

Основы метода подбора.										
Раздел 6. Решение обратной задачи для сложных гравитационных аномалий. Подбор как задача оптимизации.	20	6	3	3	10	6			4	10
Раздел 7. Заключение. Применение гравirazведки.	2	2			2					
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	6	<i>Устный экзамен</i>				6				
Итого	108	52				56				

Содержание лекций

1. Введение

Цели и задачи курса. Гравиметрический метод разведочной геофизики. Взаимосвязь с другими методами разведочной геофизики. Геологические задачи гравиметрической разведки. Исторические сведения о возникновении и развитии гравиметрической разведки. Современные проблемы гравиметрической разведки. Рекомендуемая литература.

2. Петрофизические основы гравirazведки

Плотностная характеристика горных пород. Избыточная плотность пород. Петрофизические связи. Изменение плотности внутри Земли. Скважинная гравirazведка. Гравитационное поле и плотностные модели земной коры.

3. Прямая задача гравirazведки

Понятие прямой и обратной задачи гравirazведки. Эквивалентность и неединственность обратных задач, понятие о корректных и некорректных задачах гравirazведки. Основы спектрального анализа потенциальных полей. Прямая задача гравirazведки. Основные интегральные соотношения. Спектральные способы определения массы и координат центра тяжести изолированного объекта для двумерного случая. Прямая задача для двумерных плотностных разрезов. Спектр гравитационного эффекта прямоугольника. Аппроксимация многослойного двумерного разреза системой прямоугольников. Спектральный алгоритм расчёта площадных гравитационных эффектов «Куб плотностей».

4. Методы разделения потенциальных полей

Физические предпосылки разделения гравитационных полей на составляющие. Региональные и локальные аномалии. Блок-схема классификации алгоритмов трансформации потенциальных полей. Разделение полей как процесс частотной фильтрации. Основные способы разделения полей: геологическое редуцирование, детерминистические методы (в действительной и частотной областях) формальные и основанные на краевых задачах теории потенциала, корреляционно-статистические. Методы фильтрации: осреднение, продолжение поля и его производных в верхнее и нижнее полупространства, вычисление производных, корреляционные методы разделения аномалий. Методы регуляризации в некорректных трансформациях поля.

5. Решение обратной задачи для изолированных аномальных объектов

Решение обратной задачи гравirazведки для изолированных аномальных объектов. Определение параметров моделей геометрически правильной формы способами характерных точек. Связь особых точек потенциального поля и аномального тела. Особые точки типа «полюс» и «ветвления». Определение глубины источников по логарифму спектра. Деконволюция Эйлера. Нелинейный метод изучения особых точек: Метод Березкина (метод полного нормированного градиента). Основы метода интерактивного подбора плотностного разреза по аномальному гравитационному полю.

6. Решение обратной задачи для сложных гравитационных аномалий

Решение обратной задачи для контактной поверхности. Подбор как задача оптимизации. Определение плотности в горизонтальном слое заданной мощности. Определение избыточной плотности в изолированном теле «заданного» объема. Комплексирование гравитационных и магнитных аномалий на примере решения обратной задачи для изолированного тела произвольной формы. Понятие о детерминистском и статистическом подходах к интерпретации методом подбора. Роль и место априорной

информации в методе подбора. Понятие о способах подбора сложных геологических объектов и разрезов на ЭВМ.

7. Основы интерпретации аномалий силы тяжести.

Изучение глубинного строения земной коры и верхней мантии. Тектоническое районирование. Геологическое картирование с применением гравиразведки. Регистрация временных вариаций гравитационного поля в геологических целях. Гравиметрический мониторинг. Перспективы развития гравиразведки.

План проведения семинаров.

1. Обсуждение возможностей гравиразведки в зависимости от особенностей физико-геологического разреза.
2. Анализ спектральных характеристик различных математических функций и гравитационных эффектов от плотностных моделей различного типа.
3. Обсуждение применимости методов разделения потенциальных полей в зависимости от физико-геологических условий.
4. Анализ параметров особых точек потенциального поля в зависимости от параметров аномалии и связь с особенностями аномального тела.
5. Обсуждение специфики интерактивного плотностного моделирования.

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

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

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных расчетных работ и их обсуждении в группе.

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы.

Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля:

1. Плотность рельефообразующих пород, принимаемая для расчета аномалий поля силы тяжести в редукции Буге для равнин (средняя плотность осадочных пород).
2. Плотность рельефообразующих пород, принимаемая для расчета аномалий поля силы тяжести в редукции Буге для складчатых областей (средняя плотность верхней части земной коры).
3. Средняя плотность Земли.
4. Чье имя носят эмпирические зависимости скорость – плотность?
5. Запишите формулу для расчета гравитационного эффекта точечной массы.
6. Запишите формулу для расчета спектра гравитационного эффекта точечной массы.
7. Как изменяется спектр гравитационного эффекта точечного источника с увеличением глубины источника? Проиллюстрируйте в виде графика.
8. Как определить массу источника гравитационного поля, если известен его гравитационный эффект, но не известен объем (спектральный способ)? Запишите формулу.
9. Запишите фундаментальную формулу Грина для потенциальных функций и перечислите 3 краевые задачи, которые на ней базируются.
10. В каких случаях следует применять геологическую редукцию при геологической интерпретации аномалий гравитационного поля (указать цель и условия применения)?
11. Запишите формулу «Интеграл Пуассона для плоскости».
12. Запишите формулу и изобразите график амплитудно-частотной характеристики двумерной трансформации осреднение на заданном интервале $[-l, +l]$.

13. Запишите формулы и изобразите графики (в единых координатных осях) амплитудно-частотных характеристик трансформаций по пересчету поля в: А) верхнее и Б) нижнее полупространства. Какая из трансформаций является некорректной?
14. Запишите интегральную формулу вычисления среднего значения в прямоугольном окне для данных, заданных на площади.
15. Запишите формулу и изобразите график амплитудно-частотной характеристики двумерной трансформации «Осреднение поля в скользящем окне длиной $2L$ » на заданном интервале $[A, B]$.
16. Какие ограничения накладываются на модель источников гравитационного (магнитного) поля при оценке глубин до субгоризонтальных границ раздела через логарифм спектра?
17. Запишите формулы и изобразите графики (в единых координатных осях) амплитудно-частотных характеристик трансформаций по пересчету поля в: А) верхнее и Б) нижнее полупространства. Какая из трансформаций является некорректной?
18. Дайте определение обратной задачи гравиразведки.
19. Запишите формулу для экспресс-оценки глубины до центра масс точечного источника по методу характерных точек.
20. Запишите формулу для экспресс-оценки глубины до середины уступа по методу характерных точек.
21. Какие два типа особых точек в нижнем полупространстве рассматриваются при определении параметров источников аномалий потенциальных полей?
22. Что означает термин «Структурный индекс», используемый в методе Деконволюция Эйлера?
23. Перечислите три способа пересчета потенциального поля в верхнее полупространство.
24. Запишите формулу для вычисления полного нормированного градиента, используемую в методе Березкина.
25. Какие общие виды стабилизаторов используются при разработке сглаживающих функционалов согласно теории А.Н. Тихонова (три вида)?
26. За что отвечает параметр α^{nm} при поиске решения обратной задачи?
27. Приведите примеры линейных обратных задач гравиразведки, сводящихся к интегральному уравнению Фредгольма типа свертки.
28. В чем заключается некорректность обратной задачи гравиразведки «Построение контактной гравитирующей поверхности, разделяющей две среды с известными плотностями, по полю Δg » и как она преодолевается?

Расчетные лабораторные задания:

1. *Работа рассчитана на 4 часа.* Изучение типичных аномалий потенциальных полей структурно-тектонических областей литосферы. Цель работы: получение представлений о структуре аномалий потенциальных полей над региональными геологическими структурами.
План задания. 1) Получить вариант работы. 2) Снять с грид-файлов согласно варианту значения полей вдоль линий заданных профилей. 3) С помощью программы линейной интерполяции профильных данных привести все значения полей к равномерному шагу, равному дискретности исходных данных. 4) Составить единый каталог значений, полученных в пункте 3, для каждого профиля. 5) Рассчитать аномалии силы тяжести в редукции Буге (поправка за плоскопараллельный слой) вдоль заданных линий при 6-8 значениях плотности промежуточного слоя. Для каждого значения плотности выполнить расчет

значений Аномалий Буге вручную для одной точки. 6) Построить графики аномалий силы тяжести в редукции Буге в единых координатных осях. Сверху построить график аномалий силы тяжести в свободном воздухе, снизу построить график рельефа (дна/суши). 7) В центре каждого из трех профилей (при заданной плотности) выбрать одну точку, для которой выполнить вручную расчет значений аномалии Буге. Сопоставить значения аномалий Буге, рассчитанные вручную и вынесенные на графиках, при необходимости расчеты, графики исправить. Отметить расчётные точки на графиках. 8) Для складчатой области в тех же координатных осях построить график региональных аномалий поля силы тяжести в редукции Буге. Сравнить региональные аномалии поля силы тяжести в редукции Буге и расчётные. Описать общие и различающиеся закономерности, объяснить причины различий. 9) Для области Срединно-океанического хребта рассчитать глубины до подошвы литосферы, используя данные о возрасте коры, глубине моря согласно выданным зависимостям. 10) Для каждого из трех профилей построить разрез и графики полей над ним согласно требованиям. 11) По каждому профилю провести качественный анализ гравитационного и магнитного полей, сопоставление изменения потенциальных полей в зависимости от рельефа, подошвы (мощности) осадочного чехла и земной коры, литосферы. Обязательно выяснить и описать положение профиля в потенциальных полях и других исходных данных на площади. 12) Провести сравнительную характеристику полученных данных для разнотипных структурно-тектонических областей литосферы (срединно-океанический хребет, складчатая область, зона субдукции). Составить статистическую характеристику потенциальных полей, глубинных горизонтов (рельеф дна и суши, подошва осадочного чехла, граница Мохо), возраста коры в разных частях рассматриваемых областей.

2. *Работа рассчитана на 4 часа.* Интерпретация площадных гравитационных аномалий методом характерных точек (МХТ) и методом подбора. Цель работы: изучение особенностей интерпретации аномалий поля силы тяжести при использовании метода характерных точек и автоматизированных реализаций метода подбора.

План задания. 1) Провести качественный анализ карты аномалий поля силы тяжести в редукции Буге и дать краткое описание аномального поля. 2) В пределах карты, с учетом априорной информации по геологическому картированию данного района, выбрать гравитационные аномалии, наиболее ярко характеризующие исследуемый участок. Построить графики аномалий поля силы тяжести в заданном масштабе. 3) Используя аналитические выражения для тел простой формы, в рамках метода характерных точек, произвести оценки параметров источников гравитационных аномалий (глубина залегания, горизонтальные размеры и т.д.). 4) В пределах карты задать общий интерпретационный профиль. На основании результатов проведенной количественной интерпретации методом МХТ построить вдоль профиля стартовый вариант плотностной модели. Над моделью построить график аномалий поля силы тяжести, снятый с карты с заданным шагом. 5) В программе интерактивного плотностного моделирования создать плотностную модель для интерпретационного профиля, рассматривая полученный разрез как стартовую модель. 6) Провести окончательный подбор плотностной модели, обеспечивающий сходимость исходного поля силы тяжести в редукции Буге и

поля, рассчитанного от модели, в пределах 5%. 7) Согласовать полученную плотностную модель с данными геологического картирования исследуемой площади и построить окончательный вариант геологического разреза.

3. *Работа рассчитана на 5 часов.* Построение схемы изогипс отражающего горизонта по результатам комплексной интерпретации данных гравиразведки и сейсморазведки. Цель работы: применение методов математической статистики и корреляционного анализа для комплексной интерпретации данных гравиразведки и сейсморазведки при изучении структур перспективных на нефть и газ.

План задания. 1) Используя цифровой файл исходного аномального поля силы тяжести в редукции Буге, построить карту региональной компоненты в заданном масштабе (региональную компоненту выбрать линейно меняющейся). 2) Рассчитать и построить карту локальной компоненты гравитационного поля в заданном масштабе. 3) Построить графики гравитационного поля, его региональной и локальной компонент вдоль сейсмического профиля. Проанализировать характер изменения поля силы тяжести и его компонент вдоль разреза. 4) Используя данные (п. 2) составить таблицу, связывающую значения локальной составляющей гравитационного поля и глубины залегания отражающего горизонта в ряде точек сейсмического профиля. 5) Построить диаграмму рассеяния в поле двух параметров локальной составляющей гравитационного поля и глубины залегания отражающего горизонта согласно требований. 6) Рассчитать коэффициенты уравнения линейной регрессии. 7) Вычислить коэффициент корреляции между двумя параметрами локальной составляющей гравитационного поля и глубины залегания отражающего горизонта. 8) Оценить ошибки определения коэффициентов уравнения линейной регрессии, а также размер доверительных интервалов для них. 9) Оценить надежность определения глубины отражающего горизонта по уравнению регрессии. 10) Исходя из полученной ошибки, выбрать сечение и построить схему изогипс отражающего горизонта для всей площади гравитационной съемки.

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (экзамене):

1. Понятие о способах измерения аномалий гравитационного потенциала, аномалий силы тяжести, аномалий высших производных. Региональные и локальные аномалии. Принципиальные возможности использования этих аномалий для изучения строения планеты Земля и в разведочной геофизике.
2. Плотностная характеристика горных пород (магматических, метаморфических, осадочных). Понятие избыточной плотности. Петрофизические связи плотность-скорость, плотность – магнитная восприимчивость (намагниченность).
3. Изменение плотности внутри Земли. Способы определения плотностей. Определение плотности промежуточного слоя по методу Неттльтона. Понятие избыточной плотности.
4. Скважинная гравиразведка.
5. Аномалии силы тяжести в редукции Буге, их связь с мощностью земной коры. Плотностные модели земной коры и литосферы типичных региональных структур и особенности их проявления в гравитационном поле.

6. Разложение в ряд Фурье. Спектры простых функций. Спектр гравитационного поля точечного источника. Применение преобразования Фурье в задачах гравиметрии (при решении прямых и обратных задач, трансформации потенциальных полей).
7. Гравитационный эффект от изолированного источника произвольной формы с переменной избыточной плотностью в действительной и спектральной формах (для двумерного случая). Спектр гравитационного поля точечного источника.
8. Спектральный способ определения избыточной массы и координат центра тяжести изолированного объекта. Причины возможных погрешностей и пути их устранения.
9. Прямая задача для двумерных плотностных разрезов. Спектр гравитационного эффекта прямоугольника. Аппроксимация многослойного двумерного разреза системой прямоугольников.
10. Алгоритм решения прямой задачи от объемных плотностных разрезов, задаваемых на регулярной сетке - «Куб плотностей» (решение задачи в спектральной области).
11. Проблема разделения потенциальных полей на составляющие. Использование «геологической редукции» как метода разделения полей. Возможные подходы к построению алгоритмов разделения полей. Формальные способы разделения.
12. Метод осреднения. Вывод и анализ частотной характеристики метода.
13. Фундаментальная формула Грина для потенциалов. Краевые задачи теории потенциалов, вытекающие из решения данного уравнения. Использование этих задач в разведочной геофизике.
14. Решение внешней задачи Дирихле для сферической Земли. Интеграл Пуассона для сферической области и для плоскости (без вывода функции Грина).
15. Интеграл Пуассона для плоскости. Краткая характеристика трансформаций, основанных на интеграле Пуассона. Вычисление потенциала в верхнем полупространстве.
16. Пересчет поля Δg (ΔT) в верхнее полупространство. Частотная характеристика преобразования. Применение трансформации в геологической интерпретации.
17. Вычисление вертикальных и горизонтальных производных и их комбинаций поля Δg (ΔT). Частотные характеристики преобразований. Применение трансформаций в геологической интерпретации.
18. Интегральное уравнение с ядром Пуассона. Некорректные трансформации, основанные на решении интегрального уравнения. Частотные характеристики. Регуляризирующий алгоритм продолжения поля в нижнее полупространство.
19. Задачи интерпретации. Понятие прямой и обратной задачи гравиразведки. Эквивалентность и неустойчивость решения. Физико-геологические и математические модели интерпретации. Идеи оптимальности моделей.
20. Прямая и обратная задача гравиразведки, задачи и методы решения. Эквивалентность и единственность в обратных задачах. Понятие о корректных и некорректных задачах гравиразведки.
21. Обратная задача для изолированных объектов. Условия её корректности. Краткая характеристика существующих подходов её решения.
22. Общая схема геологической интерпретации гравитационных аномалий.
23. Способ определения параметров залегания тел методом характерных точек. Теоретические и практические примеры.
24. Особые точки потенциальных функций и аномальных объектов. Теоретические и практические примеры. Принципы работы методов, использующих анализ особых точек.
25. Определение глубины до субгоризонтальных границ раздела по гравитационному или магнитному полям через логарифм спектра.
26. Метод деконволюция Эйлера. Понятие структурного индекса. Теоретические примеры.

27. Решение задачи о продолжении поля с помощью рядов Фурье. Предельный переход от рядов Фурье к интегралам Фурье.
28. Метод полного нормированного градиента.
29. Комплексирование данных гравиразведки и сейсморазведки на эталонном участке. Построение контактной поверхности по гравиметрическим данным вне эталонного участка. Регуляризирующий алгоритм решения задачи.
30. Линейная обратная задача определения избыточной плотности в горизонтальном слое. Регуляризирующий алгоритм её решения. Применимость задачи в разведочной геофизике.
31. Обратная задача построения контактной поверхности. Линеаризация ядра уравнения. Регуляризирующий алгоритм решения задачи.
32. Линейная обратная задача определения избыточной плотности в изолированном теле «заданного» объема. Регуляризирующий алгоритм её решения.
33. Комплексирование гравиметрических и магнитных данных в обратной задаче. Вычисление коэффициента Пуассона, устанавливающего связь между намагниченностью и плотностью в аномальном изолированном теле. Использование коэффициента Пуассона в задачах геологического картирования.
34. Комплексирование гравитационных и магнитных аномалий в обратной задаче. Определение намагниченности и угла намагниченности в теле произвольной формы.
35. Перспективные направления гравиметрии. Регистрация временных вариаций гравитационного поля в геологических целях. Гравиметрический мониторинг.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (экзамен).

Результаты обучения, соответствующие оценочным средствам	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания Теоретические основы интерпретации аномалий силы тяжести. (устный опрос)	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения пользоваться методами и программами для интерпретации аномальных гравитационных полей. (устный опрос)	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неприципальные неточности	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное умение
Навыки владения Методы геофизической и геологической интерпретации аномального гравитационного поля с применением современного вычислительного программного обеспечения. (устный опрос)	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки	Свободное владение и использование

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

- А.А. Булычев, И.В. Лыгин, Т.Б. Соколова, К.М. Кузнецов. Прямая задача гравиразведки и магниторазведки (конспект лекций) "КДУ", "Университетская книга" Москва, 2017.
- А. А. Никитин, А. А. Булычев. Комплексный анализ и комплексная интерпретация геофизических полей. ВНИИгеосистем М, 2015.
- Маловичко А.К., Костицын В.И. Гравиразведка. М., Недра, 1992.

- дополнительная литература:

- Андреев Б. А., Клушин И. Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. Л., Недра, 1965.
- Березкин В М Применение гравиразведки для поисков месторождений нефти и газа. М., Недра, 1973.
- Блох Ю.И. Интерпретация гравитационных и магнитных аномалий. М., МГГРУ. 2009.
- Гладкий К.В. Гравиразведка и магниторазведка. М., Недра. 1987
- Веселов К. Е. Гравиметрическая съемка. М., Недра, 1986.
- А. А. Булычев, И. В. Лыгин, Т. Б. Соколова, А. А. Фадеев, Г. И. Бровкин. Конспект лекций по курсу Гравиразведка. Часть I. "КДУ", "Университетская книга" Москва, 2017.
- А. А. Булычев, И. В. Лыгин, В. Р. Мелихов. Численные методы решения прямых задач грави- и магниторазведки (конспект лекций). Учебное пособие для студентов и магистрантов специализации Геофизика. МГУ Москва, 2010.
- Миронов В.С. Гравиразведка. Л., Недра, 1980.
- Серкерев С.А. Гравиразведка и магниторазведка. М., Недра. 1999.

Б) Перечень программного обеспечения:

- лицензионное

1. Программы **Golden Software – Surfer** (версия 10 или выше) и **Golden Software – Grapher** (версия 6 или выше);
2. **GravMagInv**

- свободного доступа

1. **Tm-2.EXE** – авторы: А. А. Булычев, А.Н. Зайцев, МГУ, кафедра геофизических методов исследования земной коры, 2001;
2. **Tg-2.EXE** – авторы: А. А. Булычев, А.Н. Зайцев, МГУ, кафедра геофизических методов исследования земной коры, 2001;
3. **HSpectr** /версия 1.04.03 – авторы: А. А. Булычев, А.Н. Зайцев, МГУ, кафедра геофизических методов исследования земной коры; ©2003
4. пакет программ **Open Office**.

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

- реферативная база данных издательства Elsevier: www.sciencedirect.com
- базы, реестры, справочники (свободный доступ, подписки)

Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)

1. Поисковая система научной информации www.scopus.com
2. Электронная база научных публикаций www.webofscience.com
3. Метод спутниковой альтиметрии
<http://www.wdcb.ru/ALTIM/Russian/Presentation/Slid003.htm>
4. Данные о возрасте литосферы
http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/ocean_age/data/2008/grids/age/

5. Данные о рельефе поверхности Мохо по данным спутниковой миссии GOCE <http://gocedata.como.polimi.it/>
6. Программное обеспечение GravMagInv <https://www.gravmaginv.ru/>
7. Ресурс по гравиразведке <https://www.gravitymsu.ru/>

Д) Материально-технического обеспечение:

Учебный компьютерный класс, оснащенный мультимедийным проектором и учебной доской. Персональные компьютеры, оснащенные необходимыми стандартными и специальными прикладными программами.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватели

Ответственный за курс: Лыгин Иван Владимирович.

Преподаватели: Лыгин И.В., Булычев А.А., Кузнецов К.М., Фадеев А.А., Соколова Т.Б.

11. Разработчики программы: А.А. Булычев – профессор, И.В. Лыгин – доцент, К.М. Кузнецов – доцент, А.А. Фадеев - ассистент.