

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

Гравиразведка

Авторы-составители: Булычев А.А., Лыгин И.В., Фадеев А.А.

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

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*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Годы приема на обучение – 2017 - 2018

Цель и задачи дисциплины

Целью освоения дисциплины «Гравиразведка» является теоретическое освоение основных разделов метода и физически обоснованное понимание возможности и роли метода при решении геологических задач.

Задачей освоения дисциплины «Гравиразведка» является приобретение знаний о физических основах данного метода, технологии измерения поля силы тяжести Земли (аппаратура и методика гравиразведочных работ) и освоение навыков геофизической и геологической интерпретации аномального гравитационного поля.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный блок, обязательный курс, курс – II и III, семестр – 4 и 6.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «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».

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);

ОПК-5.Б Способность использовать в профессиональной деятельности информационно-коммуникационные технологии, в т.ч. ГИС-технологии (формируется частично);

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

ПК-7.Б Готовность применять на практике базовые общепрофессиональные знания и навыки при решении производственных задач (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:

Знать: структуру поля силы тяжести Земли, понятие аномалий силы тяжести в различных редукциях, принцип действия и устройство гравиметрической аппаратуры, правила организации методики полевых натурных гравиразведочных работ при решении различных геологических задач, теоретические основы интерпретации аномалий силы тяжести.

Уметь: определять и соотносить возможности гравиметрической аппаратуры с требованиями гравиметрической съемки при решении конкретных геологических задач, задавать основные параметры методики съемки, определять положение точек наблюдения (профилей), проводить первичную обработку полевого материала и рассчитывать значения аномалий силы тяжести в точках наблюдения, строить графики или карты аномалий силы тяжести, пользоваться методами и программами для интерпретации аномальных гравитационных полей.

Владеть: навыками работы с современной гравиметрической аппаратурой, навыками организации полевых натурных гравиметрических съемок разного типа (профильные, площадные, наземные, морские и др.) приемами первичной обработки полевого материала и методами расчета аномалий силы тяжести, методами геофизической и геологической интерпретации аномального гравитационного поля с применением современного вычислительного программного обеспечения.

4. Формат обучения – лекционные, семинарские и лабораторные занятия.

5. Объем дисциплины составляет 5 з.е. (3 з.е. 4 семестр, 2 з.е. 6 семестр), в том числе 108 академических часа (108 часов 4 семестр, 72 часа 6 семестр), отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (52 часа (26+26)– занятия лекционного типа, 26 часа (13+13) – занятия лабораторного типа, 26 часа (13+13) – занятия семинарского типа), 76 академических часов (56+20) на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет 4 семестр, экзамен 6 семестр.

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

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В дисциплине «Гравиразведка» даются физические основы и основные понятия гравиметрического метода разведки полезных ископаемых: гравитационное поле Земли, редукции аномалий силы тяжести, способы измерения гравитационного поля, методика гравиметрической съемки. В курсе также рассматриваются основы интерпретации гравитационных аномалий: понятие прямой и обратной задачи гравиразведки, гравитационные поля элементарных моделей, способы выделения полезного сигнала, неоднозначность решения обратной задачи, методы решения обратной задачи гравиразведки.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, Форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы <i>(виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)</i>
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Введение		4			4	
Раздел 2. Гравитационное поле Земли, сила тяжести и потенциал, фигура Земли, нормальная формулы силы тяжести, вторые производные потенциала силы тяжести, вариации силы тяжести во времени.		4	3	3	10	Собеседование, прием лабораторных и семинарских заданий, 12 часов
Раздел 3. Редукции и аномалии силы тяжести, их физический смысл и применение для геологических целей. Характеристика плотностей горных пород.		4	2	2	8	Собеседование, прием практических заданий, контрольная работа, 10 часов
Раздел 4. Способы измерения гравитационного поля. Абсолютные и относительные измерения силы тяжести. Статические гравиметры.		5	3	3	11	Собеседование, прием практических заданий, контрольная работа, 12 часов
Раздел 5. Методика наземных гравиметрических работ, измерение силы тяжести в движении.		5	3	3	11	Прием лабораторных и семинарских заданий, собеседование, контрольная работа, 12 часов

Раздел 6. Основы интерпретации аномалий силы тяжести. Понятие прямой и обратной задачи гравirazведки. Гравитационные эффекты простых моделей.		4	2	2	8	Собеседование, прием лабораторных и семинарских заданий, 10 часов
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>						35 часов
Итого 4 семестр	108	52				56
Раздел 7. Понятие прямой и обратной задачи гравirazведки, Эквивалентность и неединственность обратных задач, понятие о корректных и некорректных задачах гравirazведки.		2		2		Прием семинарских заданий, собеседование, 3 часа
Раздел 8. Прямая задача гравirazведки. Основные интегральные соотношения. Палеточные методы решения прямой задачи. Аппроксимационные способы решения прямой задачи.		4	3	3		Прием лабораторных и семинарских заданий, собеседование, 4 часа
Раздел 9. Решение обратной задачи для изолированных аномальных объектов. Интегральные способы. Основы метода подбора.		4	2	2		Собеседование, контрольная работа, 4 часа
Раздел 10. Методы разделения потенциальных полей. Разделение полей как процесс частотной фильтрации.		5	3	3		Собеседование, контрольная работа, 3 часа
Раздел 11. Решение обратной задачи для сложных гравитационных аномалий. Подбор как задача оптимизации.		5	3	3		Контрольная работа, 3 часа
Раздел 12. Применение гравirazведки.		4	2	2		Прием семинарских заданий, собеседование, 3 часа
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>						35 часов
Итого 6 семестр	72	52				20

Содержание разделов дисциплины:

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. Гравитационное поле Земли

Сила тяжести и его потенциал. Притяжение однородного слоя и сферы, их потенциал и его производные. Разложение потенциала силы тяжести в ряд по сферическим функциям. Фигура Земли. Теорема Клеро. Нормальная формула силы тяжести. Вторые производные потенциала силы тяжести, их физический и геометрический смысл. Нормальные значения вторых производных потенциала силы тяжести. Вариации силы тяжести по времени □ вековые и приливные. Поправки за влияние приливных сил.

3. Редукции и аномалии силы тяжести

Редукции и аномалии силы тяжести. Геоид и эллипсоид относимости как поверхности приведения силы тяжести. Смешанные и чистые гравитационные аномалии. Характеристика плотностей горных пород и руд. Редукции и аномалии, их физический смысл и применение для геологических целей. Редукция в свободном воздухе. Аномалии в свободном воздухе. Поправка за промежуточный слой, поправка Буге и поправка за рельеф местности. Аномалии Буге. Поправка Брунса. Редукция Прея. Изостазия и изостатические редукции. Особенности редуцирования силы тяжести на море.

4. Способы измерения гравитационного поля

Классификация способов измерения ускорения силы тяжести. Абсолютные и относительные определения ускорения силы тяжести. Маятниковый способ измерения ускорения силы тяжести. Баллистический способ определения ускорения силы тяжести и его основные варианты. Измерение ускорения силы тяжести по частоте колебаний нагруженной струны. Спутниковые методы изучения гравитационного поля. Измерение горизонтальных градиентов и кривизны с помощью крутильной упругой системы. Возможности измерения вертикального градиента. Перспективы развития вариометрии.

Статические гравиметры. Основные типы чувствительных элементов гравиметров. Гравиметры 1-го и 2-го рода. Чувствительность гравиметров. Элементарная теория кварцевых астазированных гравиметров. Индикаторы малых перемещений. Устройство компенсации и измерения силы тяжести. Температурная компенсация. Термостатирование и термокомпенсирование. Герметизация и барокompенсация. Струнные гравиметры. Сверхпроводящий гравиметр. Телеуправляемые донные и скважинные гравиметры. Регулировка и исследование гравиметров. Установка уровней на минимум чувствительности к наклону. Регулировка чувствительности. Способы эталонирования гравиметров.

5. Методика наземных гравиметрических работ

Мировая гравиметрическая сеть. Национальная опорная сеть. Опорная и рядовая сети съемки. Требования к точности топографического обеспечения съемки. Основные системы наблюдений при измерениях на опорной сети. Уравнивание опорных сетей. Измерения на рядовой сети и их обработка. Независимый контроль и оценка точности измерений. Вычисление аномальных значений ускорения силы тяжести. Способы учета влияния дневного и погребенного рельефа. Оценка точности аномалий силы тяжести.

Составление карт и графиков аномалий силы тяжести. Особенности гравиметрических работ в выработках. Методика и техника скважинной гравиметрии. Обработка результатов гравиразведки на ЭВМ. Автоматизированные системы обработки.

Измерение ускорения силы тяжести в движении. Принципы измерения элементов гравитационного поля на подвижном основании. Возмущающие ускорения и наклоны. Способы их учета. Эффект Этвеша и его учет. Особенности маятникового метода измерения ускорения силы тяжести в движении. Измерение силы тяжести в движении с помощью гравиметров. Основные типы набортных гравиметров. Особенности методики измерений ускорения силы тяжести на море и в воздухе. Площадные и профильные съемки. Топографическое обеспечение морской и аэрогравиметрической съемки.

6. Основы интерпретации аномалий силы тяжести

Основные методы интегрирования при решении прямой задачи для элементарных моделей. Гравитационные эффекты простых моделей - шара, материального стержня, диска кругового цилиндра, параллелепипеда и др. Графические методы решения прямой задачи с помощью палеток. Аппроксимационные способы решения прямой задачи от сложных распределений плотности. Применение ЭВМ при решении прямой задачи гравиразведки.

7. Понятие прямой и обратной задачи гравиразведки

Основы интерпретации аномалий силы тяжести. Понятие прямой и обратной задачи гравиразведки, Эквивалентность и неединственность обратных задач, понятие о корректных и некорректных задачах гравиразведки.

8. Прямая задача гравиразведки

Прямая задача гравиразведки. Основные интегральные соотношения. Палеточные методы решения прямой задачи. Аппроксимационные способы решения прямой задачи.

9. Решение обратной задачи для изолированных аномальных объектов

Решение обратной задачи гравиразведки для изолированных аномальных объектов. Определение параметров моделей геометрически правильной формы способами характерных точек. Определение параметров моделей с помощью номограмм и палеток. Интегральные способы. Основные методы подбора.

10. Методы разделения потенциальных полей

Физические предпосылки разделения гравитационных полей на составляющие. Региональные и локальные аномалии. Разделение полей как процесс частотной фильтрации. Основные способы разделения полей - геологическое редуцирование, осреднение, вычисление производных, продолжение поля и его производных в верхнее и нижнее полупространства, корреляционные методы разделения аномалий. Методы регуляризации в некорректных трансформациях поля.

11. Решение обратной задачи для сложных гравитационных аномалий

Решение обратной задачи для контактной поверхности. Подбор как задача оптимизации. 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.

12. Применение гравиразведки

Изучение глубинного строения земной коры и верхней мантии. Тектоническое районирование. Геологическое картирование с применением гравиразведки. Поиски

рудных месторождений. Поиски и разведка месторождений нефти и газа. Решение гидрогеологических и инженерно-геологических задач.
Перспективы развития гравиразведки.

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

В течение преподавания курса «Гравиразведка» в качестве форм текущего контроля успеваемости студентов используются такие формы, как написание контрольных работ, собеседование при приеме результатов лабораторных работ с оценкой. По итогам обучения (Основы метода гравиметрической разведки) в 4-ом семестре проводится зачет, а по итогам обучения (Основы геологической интерпретации гравитационных аномалий) в 6-ом семестре проводится экзамен.

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

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

1. Сила тяжести и потенциал.

Притяжение однородного слоя и сферы, их потенциал и его производные.

Фигура Земли. Теорема Клеро. Нормальная формула силы тяжести.

Вторые производные потенциала силы тяжести, их физический и геометрический смысл.

2. Редукции и аномалии поля силы тяжести.

Геоид и эллипсоид относимости, как поверхности приведения силы тяжести.

Смешанные и "чистые" гравитационные аномалии.

Характеристика плотностей горных пород и руд.

Редукции и аномалии, их физический смысл и применение для геологических целей.

Редукция в свободном воздухе. Аномалии в свободном воздухе.

Поправка за промежуточный слой, поправка Буге и поправка за рельеф местности.

Аномалия Буге.

Поправка Брунса.

Редукция Пряя.

Изостазия и изостатические редукции.

Особенности редуцирования силы тяжести на море.

3. Способы измерения элементов гравитационного поля.

Классификация способов измерения ускорения силы тяжести.

Абсолютные и относительные определения ускорения силы тяжести.

Маятниковый способ измерения сил тяжести.

Баллистический способ измерения силы тяжести.

Измерение ускорения силы тяжести по частоте колебаний нагруженной струны.

Спутниковые методы изучения гравитационного поля.

4. Статические гравиметры.

Основные типы чувствительных элементов гравиметров. Гравиметры 1-го и 2-го рода.

Элементарная теория кварцевых астазированных гравиметров.

Чувствительность гравиметров.

Устройство компенсации и измерение силы тяжести.

Теплорегуляция. Термостатирование и термокомпенсирование. Герметизация и барокомпенсация.

Струнные гравиметры.

Регулировка и исследование гравиметров.

Установка уровней на минимум чувствительности к наклону.

Регулировка чувствительности.

Способы эталонирования гравиметров.

5. Методика гравиметрической съемки.

Мировая гравиметрическая сеть. Национальная опорная сеть. Опорная и рядовая сети съемки.

Требование к точности топографического обеспечения съемки.

Основные системы наблюдений при измерениях на опорной сети. Уравнивание опорных сетей.

Измерение на рядовой сети и их обработка.

Независимый контроль и оценка точности измерений.

Вычисление аномальных значений ускорения силы тяжести.

Способы учета влияния дневного рельефа.

Оценка точности аномалий силы тяжести.

Составление карт и графиков аномалий силы тяжести.

6. Измерение гравитационного поля в движении.

Принципы измерения элементов гравитационного поля на подвижном основании.

Возмущающие ускорения и наклоны. Способы их учета.

Эффект Этвеша и его учет.

Особенности методики измерений ускорения силы тяжести на море и в воздухе.

Площадные и профильные съемки.

Топографическое обеспечение морской и аэрогравиметрической съемки.

7. Основы геологической интерпретации гравитационных аномалий.

Задачи интерпретации.

Понятие прямой и обратной задачи гравиразведки.

Интегральные формулы для элементов гравитационного поля.

Эквивалентность и единственность в обратных задачах.

Понятие о корректных и некорректных задачах гравиразведки.

Физико-геологические и математические модели интерпретации. Идеи оптимальности моделей.

Общая схема геологической интерпретации гравитационных аномалий.

8. Решение прямой задачи гравиразведки.

Основные методы интегрирования при решении прямой задачи для элементарных моделей.

Гравитационные эффекты простых моделей – шар, материальный стержень, диск, круговой цилиндр, параллелепипед и др.

Графические методы решения прямой задачи с помощью палеток.

Аппроксимационные способы решения прямой задачи от сложных распределений плотности.

9. Решение обратной задачи гравиразведки.

Определение параметров модели геометрически правильной формы методом характерных точек, номограмм и палеток.

Метод подбора.

10. Трансформации потенциальных полей.

Принципы разделения полей на региональную и локальную составляющие.

Основные способы разделения полей – геологическое редуцирование, осреднение, вычисление производных, продолжение поля и его производных в верхнее и нижнее полупространства.

Корреляционные методы разделения аномалий.

11. Решение обратной задачи для сложных гравитационных аномалий.

Решение обратной задачи для контактной поверхности.

Подбор как задача оптимизации.

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.

12. Применение гравиразведки.

Изучение глубинного строения земной коры и верхней мантии.

Тектоническое районирование.

Геологическое картирование с применением гравиразведки.

Поиски рудных месторождений.

Поиски и разведка месторождений нефти и газа.

Решение гидрогеологических и инженерно–геологических задач.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (4 семестр – зачет).

Результаты обучения	«Незачет»	«Зачет»
Знания: основ теории гравитационного поля Земли, принципов работы гравиметрическое оборудования, методики полевых работ,	Знания отсутствуют	Систематические или общие, но не структурированные знания
Умения: задавать основные параметры методики съемки, проводить первичную обработку полевого материала и рассчитывать значения аномалий силы тяжести,	Умения отсутствуют	Успешное умение или в целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера
Владения: навыками работы с современной гравиметрической аппаратурой, навыками организации полевых гравиметрических съемок, приемами первичной обработки полевого материала и методами расчета аномалий силы тяжести	Навыки владения отсутствуют	Владение навыками

7.3 Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (6 семестр – экзамен).

Результаты Обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: теоретические основы интерпретации аномалий силы тяжести.	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: пользоваться методами и программами для интерпретации	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности	В целом успешное, но содержащее отдельные	Успешное умение

аномальных гравитационных полей.		непринципиально го характера	пробелы	
Владения: методами геофизической и геологической интерпретации аномального гравитационного поля с применением современного вычислительного программного обеспечения.	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:

- 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 лицензионного программного обеспечения:

Специальные вычислительные и логические компьютерные программы, созданные сотрудниками и преподавателями кафедры Геофизики Геологического факультета МГУ.

В) Материально-технического обеспечения:

Для материально-технического обеспечения дисциплины Гравиразведка используются: лаборатория гравиразведки кафедры Геофизики, компьютерный класс отделения Геофизики, полевая гравиразведочная аппаратура, специализированная аудитория с ПК и компьютерным проектором, библиотека Геологического факультета МГУ.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватели – Булычев А.А., Лыгин И.В., Фадеев А.А., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М., Золотая Л.А., Коснырева М.В.

11. Авторы программы – Булычев А.А., Лыгин И.В., Фадеев А.А.