

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

Практика применения гравиразведки

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

Год приема на обучение – 2018.

Цель и задачи дисциплины

Целью курса «Практика применения гравиразведки» является приобретение учащимися практического понимания условий формирования аномалий поля силы тяжести и практических навыков их первичного анализа.

Задачи - ознакомление учащихся с методическими и методологическими основами анализа и интерпретации аномалий поля силы тяжести (аномального гравитационного поля), основанными на приближении источников гравитационных аномалий телами простой формы.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный цикл, профессиональные дисциплины по выбору, факультатив, курс – II, семестр – 4.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Общая геология», «Историческая геология», «Введение в специальность», «Физика», «Высшая математика», «Математический анализ»; «Магниторазведка», «Гравиразведка», «ГИС в геологии», «ГИС в геофизике», «Информатика».

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: основы теории гравитационного поля Земли.

Уметь: выполнять редуцирование аномалий поля силы тяжести для различных условий наблюдений.

Владеть: навыками качественной и количественной оценки параметров источников гравитационных аномалий методами, основанными на аппроксимации источников гравитационных аномалий телами простой формы.

4. Формат обучения – лекционные и лабораторные занятия.

5. Объем дисциплины составляет 2 з.е., в том числе 72 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (6 часа – занятия лекционного типа, 20 часов – занятия лабораторного типа), 46 академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет.

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

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В программу дисциплины «Практика применения гравirazведки» входят лабораторные работы из различных разделов дисциплины «Гравirazведка», не вошедшие в основной курс, но имеющие важное практическое значение для обучения. В ходе выполнения лабораторных работ осваиваются физико-геологические принципы формирования гравитационных аномалий, методы решения прямых задач и подходы оценки параметров источников гравитационных аномалий методами, основанными на приближении источников гравитационных аномалий телами простой формы.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, Форма промежуточной аттестации по дисциплине	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. Изучение свойства гравитационного потенциала и его первых и вторых производных, силы притяжения.		2		4	6	Сдача расчетно-графических работ, собеседование, 10 часов
Раздел 2. Приобретение навыков расчета аномалий силы тяжести в редукции Буге для различных условий наблюдения.		2		4	6	Сдача расчетно-графических работ, собеседование, 10 часов
Раздел 3. Гравитационные эффекты тел простой формы.		2		6	8	Сдача расчетно-графических работ, собеседование, 10 часов
Раздел 4. Решение обратной задачи гравиразведки методом характерных точек.				6	6	Сдача расчетно-графических работ, собеседование, 10 часов
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>						6
Итого	72			26		46

Содержание разделов дисциплины:

1. Изучение свойства гравитационного потенциала и его первых и вторых производных, силы притяжения

Изучение свойств гравитационного потенциала и его первых и вторых производных, силы притяжения. Анализ характера поведения гравитационного потенциала и его компонент от однородного плотностного источника шарообразной формы.

2. Приобретение навыков расчета аномалий силы тяжести в редукции буге для различных условий наблюдения

Вывод формул и анализ аномалий силы тяжести в различных редукциях в зависимости от условий наблюдения.

3. Гравитационные эффекты тел простой формы

Изучение характера поля гравитационного потенциала и его производных над двумерными и трехмерными телами простой формы (шар; горизонтальный материальный стержень; вертикальный материальный стержень, вертикальный тонкий пласт; горизонтальная тонкая полоса) на основе теоретических и практических примеров.

4. Решение обратной задачи гравиразведки методом характерных точек

Решение обратной задачи гравиразведки методом характерных точек. Предварительные оценки параметров аномалообразующих тел по характеру гравитационного поля (как в профильном, так и площадном представлении): определение типов простых тел, которыми может быть аппроксимирован источник аномалии; оценки предельных глубин залегания, соотношения избыточной плотности/массы/размеров выбранных тел. Оценка точности определения параметров аномалообразующих тел.

Содержание лабораторных работ

1. Изучение свойств гравитационного потенциала и его первых и вторых производных, силы притяжения. Анализ графиков гравитационного потенциала и его компонент для однородного плотностного источника шарообразной формы. Расчеты выполняются в сферической и декартовой системах координат по радиальным и касательным профилям. Работа включает следующие задания.

А. Анализ гравитационных эффектов шарообразных вращающихся тел. Для шарообразного тела рассчитать потенциал притяжения и его компоненты.

1) Выбрать любой шарообразный космический объект (астероид, планета, звезда и т.п. кроме планеты Земля и Луны), для которого известны (по справочным данным) радиус R , средняя плотность σ , скорость вращения вокруг собственной оси.

2) Рассчитать потенциал притяжения $V(\rho)$ во внутренней и внешней областях. В качестве точек расчета взять следующие: $\rho = 0R, 0.1R, 0.4R, 0.8R, R, 1.5R, 2R, 3R, 4R, 5R, 6R, 10R$ (если графики полей не вышли на асимптоту, добавить точки).

3) Для того же объекта в тех же точках рассчитать силу притяжения $F(\rho)$.

4) Для того же объекта в тех же точках рассчитать вторые производные потенциала $\partial^2 V / \partial r^2(\rho)$. Обратить внимание на различие значений в окрестности поверхности шара в зависимости от формулы расчета (вне и внутри шара).

5) Построить графики функций $V(\rho)$, $F(\rho)$, $\partial^2 V / \partial r^2(\rho)$ (абсциссы графиков задаются в тыс. км, ординаты – в $\text{см}^2/\text{с}^2$, мГалах, Этвешах, соответственно). Изобразить на рисунке контур тела в масштабе горизонтальной оси.

6) Для каждой функции во внутренней и внешней областях рассчитать по одной точке вручную (в системе СГС). Отметить точки расчета на соответствующих графиках. Точки выбрать не в центре тела и не на поверхности.

7) Рассчитать центробежную силу на поверхности тела (используя скорость вращения космического тела вокруг собственной оси и его радиус) и сравнить ее с силой притяжения. Вычислить процентное соотношение двух сил. На рисунке указать направления векторов сил на поверхности тела на экваторе, широте 45° , полюсе.

Б. Анализ гравитационных эффектов (горизонтальная V_x и вертикальная V_z производные гравитационного потенциала) от геологической модели, аппроксимируемой шарообразным телом с известными параметрами.

1) Придумать геологическую ситуацию, для которой в однородном полупространстве вмещающих пород находится геологическое тело близкое по форме к сфере (изометричная куполообразная складка, соляной или глиняный диапир, лакколит, карстовая депрессия и т.п.). Параметры модели (глубина залегания центра масс h , радиус шара R , плотности тела $\sigma_{\text{тела}}$ и вмещающих пород $\sigma_{\text{вм.п.}}$) выбрать самостоятельно. При расчетах использовать избыточную плотность $\Delta\sigma = \sigma_{\text{тела}} - \sigma_{\text{вм.п.}}$. Выбирать плотности геологических комплексов из диапазона от 1.5 до $3 \cdot 10$ г/см³.

2) Рассчитать горизонтальную $V_x(x)$ и вертикальную $V_z(x)$ производные гравитационного потенциала вдоль профиля, проходящего над центром шарообразного тела (профиль и тело не пересекаются).

3) Построить графики зависимостей $V_x(x)$ и $V_z(x)$ (графики полей должны достигать асимптот). Под графиками изобразить геологическую модель.

4) Привести ручной расчет для одной точки (в системе СГС) значений V_x и V_z . Точка должна располагаться в зоне градиента. Отметить точку расчета на графиках.

5) Сопоставить особые точки графиков (положение экстремумов, области максимального градиента графиков функций, ширина аномалий) и характерные особенности аномалообразующего тела (размер, глубина залегания).

В качестве отчетного материала необходимо подготовить:

1) Рисунок с графиками $V(\rho)$, $F(\rho)$, $\partial^2 V / \partial r^2(\rho)$.

2) Таблица с рассчитанными потенциалом, первой и второй производными потенциала.

3) Для каждой функции расчеты вручную (всего шесть расчетов).

4) Рисунок с графиками $V_x(x)$ и $V_z(x)$.

5) Расчеты вручную значений функций $V_x(x)$ и $V_z(x)$ для выбранной точки.

6) Развернутые ответы на вопрос практического задания.

2. Приобретение навыков расчета аномалий силы тяжести в редукции Буге для различных условий наблюдения. Для геологической интерпретации представляют интерес не полные (абсолютные) значения поля силы тяжести g , а аномальные $\Delta g_{\text{ан}}$, которые исключают влияние нормального поля силы тяжести γ_0 и не зависят от высоты наблюдения h и окружающего рельефа. Введением соответствующих поправок вычисляются аномальные значения поля силы тяжести. Аномалии силы тяжести в редукции Буге при правильно подобранной плотности рельефообразующих пород не содержат гравитационных эффектов, связанных с различием высот точек наблюдения и поверхности относимости. В ходе выполнения работы вычисляются аномалии силы тяжести для всех условий наблюдения, встречающихся в гравиразведке:

- сухопутная гравиметрия (на уровне моря; выше уровня моря на поверхности земли; ниже уровня моря на поверхности земли);

- аэрогравиметрия или штативные измерения (выше уровня моря в воздухе; выше уровня моря в воздухе, присутствует положительный рельеф; выше уровня моря в воздухе, уровень земли ниже уровня моря; на уровне моря, уровень земли ниже уровня моря; ниже уровня моря в воздухе);

- шахтная и скважинная гравиметрия (ниже уровня моря, рельеф отсутствует; на уровне моря в горе; выше уровня моря в горе; ниже уровня моря, присутствует положительный рельеф; ниже уровня моря в горе, рельеф ниже уровня моря);

- морская гравиметрия (на корабле, уровень наблюдения на уровне моря – гравиметр на уровне ватерлинии; на корабле, уровень наблюдения выше уровня моря – гравиметр на палубе; на подводной лодке, уровень наблюдения ниже уровня моря – гравиметр в водной толще; на дне – донный гравиметр).

Работа включает следующие задания.

- 1) Выбрать точку на Земле с известными координатами (долгота, широта и высота).
- 2) Рассчитать нормальное значение поля силы тяжести в выбранной точке по формуле Гельмерта или Кассиниса.
- 3) Вывести формулы для расчета аномалий силы тяжести в редукции Буге в зависимости от условий наблюдения.
- 4) Выбрать в качестве наблюденного значения гравитационного поля отличающееся значение от нормального на величину, не превышающую ± 100 мГал.
- 5) Вычислить поправки и значения аномалий поля силы тяжести (редукции в свободном воздухе и Буге) для различных условий наблюдения (*плотность рельефообразующих пород выбрать постоянной из интервала 1.80...2.80 г/см³, плотность воды 1.03 г/см³*) вдоль двух заданных профилей. Сопроводить каждое вычисление поясняющим рисунком.
- 6) Для вычисленных значений вдоль заданных профилей построить графики рассчитанных поправок для вычисления аномалий силы тяжести в редукции свободный воздух и Буге.
- 7) Для каждой точки вручную рассчитать значения силы тяжести в редукции за свободный воздух.
- 8) Для каждой точки вручную рассчитать значения силы тяжести в точках наблюдения.
- 9) Для каждого заданного профиля построить графики рассчитанных поправок для вычисления аномалий силы тяжести в редукции свободный воздух и Буге.
- 10) Для каждого заданного профиля построить теоретический график аномалий силы тяжести в редукции Буге – график, который получается в случае реальных наблюдений и вычислений в условиях заданной модели.
- 11) Для каждого заданного профиля восстановить (вычислить значения) и построить графики аномалий силы тяжести в редукции за свободный воздух $\Delta g_{св.в.}$ и наблюденных значений поля силы тяжести g , используя теоретический график аномалий силы тяжести в редукции Буге, графики поправок за промежуточный слой и высоту.
- 12) Рассчитать абсолютные значения поля силы тяжести g_{abc} для каждого из условий наблюдений, которые в действительности должны быть для конкретной ситуации, и построить графики.
- 13) Дать развернутый ответ на вопрос: «Какое взаимоотношение (корреляция) формы рельефа земной поверхности и наблюденных значений поля силы тяжести при наблюдениях на земной поверхности?»
- 14) Дать развернутый ответ на вопрос: «Какое взаимоотношение (корреляция) формы рельефа земной поверхности и аномалий поля силы тяжести в редукции в свободном воздухе при наблюдениях на земной поверхности?»
- 15) Дать развернутый ответ на вопрос: «Какое взаимоотношение (корреляция) формы рельефа земной поверхности и аномалий поля силы тяжести в Буге при наблюдениях на земной поверхности?»
- 16) Дать развернутый ответ на вопрос: «Как должен выглядеть график аномалий поля силы тяжести в редукции Буге при различных условиях наблюдения вблизи границы однородного по плотности нижнего полупространства?».

3. Гравитационные эффекты тел простой формы. Аналитическое знание элементов гравитационного поля тел простой формы облегчает задачу интерпретатора при изучении сложно-построенных геологических сред на этапе классификации поля по характеру аномалий. В задании предлагается изучить характер поля гравитационного потенциала и его производных над двумерными и трехмерными телами простой формы. Работа включает следующие задания.

1) Придумать две геологические ситуации, для которых каждое из выбранных тел может стать моделью аппроксимации. В качестве геологических объектов могут быть выбраны: соляной купол, рифовый массив, антиклинальная складка, рудное тело, подземное хранилище газа, карстовое разуплотнение, археологический объект или другой объект, известный из курсов общей и структурной геологии. Для каждого тела самостоятельно задать параметры: геометрические размеры, эффективные плотности, глубины залегания, исходя из реальных геологических ситуаций.

2) Рассчитать и построить графики производных гравитационного потенциала согласно формулам, предназначенных для шара, горизонтального материального стержня (тонкий цилиндр), вертикального материального стержня.

Рассчитать значения производных гравитационного потенциала для одного двумерного и одного трехмерного тел простой формы в ряде точек горизонтальной прямой (профиль), пересекающей тело под прямым углом. Шаг по профилю может быть переменным, но достаточным для детального изображения графика аномалии и согласованным с глубиной залегания и размерами тела.

Построить графики функций для двумерной модели (Excel, Grapher и др.). Графики функций должны выходить на асимптоты. Под графиками нарисовать модель.

Для каждой функции в одной точке (нецентральная) выполнить расчет значений вручную (в системе СГС). Отметить точки расчета на соответствующих графиках.

Сравнить формы графиков производных гравитационного потенциала. Уметь теоретически показать наличие сопряженных минимумов на графиках вторых производных и их отсутствие для первой вертикальной производной.

3) Построить карту изолиний поля силы тяжести от трехмерного тела.

Рассчитать значения поля силы тяжести для трехмерного тела в ряде точек равномерной сети для создания GRD файла.

Построить карту изолиний поля силы тяжести от трехмерной модели.

Оформить карту:

- подписать название карты, указать направление на север,
- указать масштаб и привести масштабную линейку,
- подписать горизонтальные оси и указать их размерность,
- указать сечение изолиний и единицы измерения, подписать изолинии,
- дать цветовую наполнение карты изолиний, привести цветовую шкалу.

На карте показать контуры тела.

Показать положение профиля, вдоль которого построены графики производных потенциала.

Выбрав нецентральная точку, выполнить расчет значений поля силы тяжести вручную (в системе СГС). Отметить точку расчета на карте.

Удостовериться в согласованности результатов расчетов вручную, в Excel, в Surfer.

Дать развернутый ответ на вопрос: «Зависят ли форма аномалии поля силы тяжести от размера аномалообразующего сферического тела при фиксированной массе? Почему?»

4. Решение обратной задачи гравиразведки методом характерных точек с целью определения параметров геологического объекта (массы, глубины залегания и формы) по наблюдаемым значениям аномалий. Работа включает следующие задания.

1. По графикам аномалий, которые были получены в работах 1 и 3, рассчитать параметры источников аномалий для различных тел аппроксимации согласно

соотношениям между особыми точками тел простой формы (шар, вертикальный круговой полубесконечный цилиндр, горизонтальный круговой цилиндр бесконечного простираения) и характерными точками графиков их гравитационных эффектов;

2. Сравнить полученные результаты и дать собственную оценку однозначности решения обратной задачи;

3. Оценить точность решения обратной задачи путем сравнения с параметрами тел, известными из прямой задачи;

4. Оценить проектную точность и шаг съемки для обнаружения аномалий, созданных телами.

1. Изучение петрофизических связи упругих свойств и плотности горных пород.

2. Изменение плотности и скорости с глубиной.

3. Составление двумерного сейсмо-гравитационного разреза.

4. Составление сейсмо-гравитационной модели верхней части разреза.

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

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

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

- (1) Единицы измерения гравитационного потенциала и его элементов (потенциал, первые и вторые производные).
- (2) Гравитационное поле Земли. Вектора ускорений на поверхности Земли. Значения компонент силы тяжести на экваторе, полюсе. Изменение силы тяжести с глубиной и высотой.
- (3) Притяжение однородного слоя и сферы, их потенциал и его производные.
- (4) Уравнение эквипотенциальной поверхности. Направление силы притяжения относительно эквипотенциальной поверхности. Как изменяется на эквипотенциальной поверхности сила притяжения?
- (5) 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.
- (6) Понятие прямой и обратной задачи гравиразведки. Общая схема геологической интерпретации гравитационных аномалий
- (7) Гравитационные эффекты моделей – шар, материальный стержень, диск, круговой цилиндр, параллелепипед и др.
- (8) Аппроксимационные способы решения прямой задачи от сложных распределений плотности.
- (9) Определить пределы применимости двумерной задачи и трехмерной плоской задачи.
- (10) Оценить возможности обнаружения аномалий с использованием гравиметрической аппаратуры.
- (11) Какие аномалии поля силы тяжести (минимальный размер и амплитуда) надежно регистрируются гравиметрическими наблюдениями с шагом 200 м и точностью ± 0.03 мГал?
- (12) На каких стадиях исследования и с какой целью используется решение прямой задачи гравиразведки?
- (13) От чего зависит точность и достоверность интерпретации аномалий поля силы тяжести при решении геологических и геотехнических задач?

- (14) От каких геолого-петрографических факторов зависит плотность горных пород и руд?
- (15) Какие элементы геологического строения геологические структуры можно аппроксимировать моделью шара?
- (16) Какие элементы геологического строения можно аппроксимировать моделью цилиндра (горизонтального, вертикального)?
- (17) Какие элементы геологического строения можно аппроксимировать моделью уступа?
- (18) В чем состоит решение обратной задачи методом подбора?
- (19) Чем определяется (от чего зависит) точность, надежность и достоверность геологических (инженерно-геологических, геотехнических и пр.) решений, полученных в результате интерпретации аномалий поля силы тяжести?
- (20) Что является подтверждением достоверности геолого-геофизических построений, выполненных в результате интерпретации аномалий поля силы тяжести?
- (21) Какие геологические структуры являются наиболее благоприятными объектами гравиразведки?

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Результаты обучения	«Незачет»	«Зачет»
Знания: основы теории гравитационного поля Земли	Знания отсутствуют	Систематические или общие, но не структурированные знания
Умения: выполнять редуцирование аномалий поля силы тяжести для различных условий наблюдений	Умения отсутствуют	Успешное умение или в целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности принципиального характера
Владения: навыками качественной и количественной оценки параметров источников гравитационных аномалий	Навыки владения отсутствуют	Владение навыками

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

-Маловичко А.К., Костицын В.И. Гравиразведка. М., Недра, 1992.М

-Булычев А.А., Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Кузнецов К.М. Прямая задача гравиразведки и магниторазведки (конспект лекций) "КДУ", "Университетская книга" Москва, 2017.

- дополнительная литература:

-Булычев А.А., Лыгин И.В., Соколова Т.Б., Фадеев А.А., Бровкин Г.И. Конспект лекций по курсу Гравиразведка. Часть I. "КДУ", "Университетская книга" Москва, 2017.

-Миронов В.С. Гравиразведка. Л., Недра, 1980.

В) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (лицензионное программное обеспечение требуется):

- Surfer Golden Software;

- Microsoft Office Word, Excel.

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 – Лыгин И.В., Булычев А.А., Фадеев А.А.