

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

Практика применения гравиразведки

The practice of using Gravity prospecting

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

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

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.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В программу дисциплины «Практика применения гравиразведки» входят лабораторные работы из различных разделов дисциплины «Гравиразведка», не вошедшие в основной курс, но имеющие важное практическое значение для обучения. В ходе выполнения лабораторных работ осваиваются физико-геологические принципы формирования гравитационных аномалий, двумерные методы разделения гравитационного поля на составляющие, роль и место априорной информации при анализе источников аномалий гравитационного поля, методы составления предварительных плотностных разрезов и решения прямых задач гравиразведки.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП – относится к профильному блоку вариативной части ОПОП, профессиональные дисциплины по выбору, факультатив. Курс – III, семестр – 6.

2. Входные требования для освоения дисциплины предварительные условия:

базируется на знаниях по дисциплинам «Основы гравиразведки и магниторазведки», «Гравиразведка», «ГИС в геологии», «ГИС в геофизике», «Магниторазведка», «Сейсморазведка», «Историческая геология», «Структурная геология и геокартирование», «Геология полезных ископаемых».

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: роль априорной информации при анализе источников аномального гравитационного поля; Уметь: собрать априорную информацию, необходимую для определения параметров источников аномального гравитационного поля; Владеть: навыками использования априорной информации при подготовке к интерактивному плотностному моделированию источников аномального гравитационного поля вдоль профиля.
ОПК-3.Б. Способен решать стандартные задачи профессиональной	Б.ОПК-3. И-3. Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации	Знать: методы разделения на составляющие аномального гравитационного поля, заданного на профиле;

<p>деятельности в соответствии с профилем подготовки (реализуется частично).</p>	<p>информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки.</p>	<p>Уметь: подобрать оптимальный метод разделения на составляющие гравитационного поля, заданного на профиле; Владеть: навыками разделения на составляющие аномального гравитационного поля, заданного на профиле, в одном из специализированных вычислительных программных комплексов.</p>
<p>ОПК-6.Б. Способен использовать в профессиональной деятельности информационно-коммуникационные технологии, в т.ч. ГИС-технологии (реализуется частично).</p>	<p>Б.ОПК-6. И-2. Пользуется стандартными программными продуктами в области ГИС-технологий для обработки и визуализации геологических данных.</p>	<p>Знать: специализированные вычислительные программные комплексы, предназначенные для интерактивного моделирования плотностных разрезов по гравитационному полю; Уметь: определять задачи, которые можно решить с использованием специализированных вычислительных программных комплексов, предназначенных для интерактивного моделирования плотностных разрезов по гравитационному полю; Владеть: первичными навыками работы в одном из специализированных вычислительных программных комплексов, предназначенных для интерактивного моделирования плотностных разрезов по гравитационному полю.</p>
<p>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).</p>	<p>Б.СПК-1. И-1. Владеет методами решения прямых задач геофизики для сред различной размерности</p>	<p>Знать: Основные принципы интерактивного составления двумерных плотностных моделей по аномалиям гравитационного поля с использованием априорной информации; Уметь: составлять двумерные плотностные модели по аномалиям гравитационного поля с использованием априорной информации; Владеть: основными навыками составления двумерных плотностных моделей по аномалиям гравитационного поля с привлечением априорной информации в специализированных вычислительных программных комплексах.</p>

4. Объем дисциплины составляет 2 з.е., в том числе 26 академических часа на контактную работу обучающихся с преподавателем (лекции – 6 часов, занятия лабораторного типа – 20 часов), 46 академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет.

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		Расчетно-графические работы	Работа с литературой (включая подготовку доклада)	Подготовка к контрольному опросу	Всего
Раздел 1. Принципы создания априорной плотностной модели и решения двумерной прямой задачи в специализированных программных комплексах.	22	2	6	8	10		4	14
Раздел 2. Двумерные трансформации аномального гравитационного поля.	22	2	6	8	10		4	14
Раздел 3. Интерактивное двумерное плотностное моделирование.	24	2	8	10	10		4	14
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>	4	<i>Устный зачет</i>			4			
Итого	72	26			46			

Содержание лекций

1. Принципы создания априорной плотностной модели и решения двумерной прямой задачи в специализированных программных комплексах

Изучение значения и способов учета априорных данных при формировании исходной модели. Выяснение роли решения прямой задачи при анализе и интерпретации аномалий гравитационного поля. Установление связи аномальных особенностей гравитационного поля с морфологией источников, анализ эквивалентности решения прямых задач. Вычислительные алгоритмы и программы для учета влияния известных геологических тел (геологическое редуцирование). Рекомендуемая литература и программное обеспечение.

2. Двумерные трансформации аномального гравитационного поля.

Локализация аномалий гравитационного с использованием различных алгоритмов двумерной фильтрации (фильтры формальные и основанные на интеграле Пуассона). Выделение среднего значения поля, линейного фона, низкочастотной компоненты поля, связанной с формой подошвы литосферы и региональными плотностными неоднородностями. Локализация средне- и высокочастотных компонент, связанных с плотностными неоднородностями в кристаллическом фундаменте и осадочном чехле.

3. Интерактивное двумерное плотностное моделирование

Основы построения плотностного разреза с использованием комплекса геолого-геофизических данных (гравитационное и магнитное поля, сейсмические данные, петроплотностные свойства). Алгоритм интерактивного подбора глубинного плотностного разреза по профилю, пересекающему срединно-океанический хребет (или другую глубинную структуру), варьируя плотностями в слоях астеносферы и подкоровой литосферы. Загрузка гравиметрических и вспомогательных данных. Создание модели начального приближения. Интерактивный подбор распределения плотности в слоях с целью минимизации среднеквадратического отклонения поля модели от исходного.

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 и индивидуально.

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы.

Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля:

1. Роль априорной информации в гравиразведке.
2. Методы решения двумерной прямой задачи гравиразведки.
3. Принципы и подходы применения геологической редукции.
4. Методы двумерной фильтрации гравитационного поля, основанные на интеграле Пуассона.
5. Формальные методы фильтрации гравитационного поля, заданного на профиле.
6. Связь компонент гравитационного поля с элементами геологического разреза в зависимости от глубины.
7. Детальность аппроксимации геологического разреза.
8. Минимизация краевых эффектов при двумерном плотностном моделировании.
9. Ограничения на форму нижней границы плотностной модели.
10. Положение расчетных точек гравитационного эффекта плотностной модели и её верхней границы.

11. Принципы интерактивного двумерного плотностного моделирования.

Расчетные лабораторные задания:

1. *Работа рассчитана на 6 часов.* Подготовка данных для двумерного плотностного моделирования. Создание априорной модели и расчет прямой задачи в программе интерактивного плотностного моделирования вдоль профиля. Цели работы: изучение значения и способов учета априорных данных при формировании исходной модели; выяснение роли решения прямой задачи при анализе и интерпретации аномалий гравитационного поля.

План практического задания. 1) В программе интерактивного плотностного моделирования создать файл для двумерной количественной интерпретации аномалий поля силы тяжести на профиле с использованием априорных данных. Использовать параметры модели согласно заданию. Добавить имеющуюся априорную информацию о глубинах основных структурных горизонтов. По графикам дополнительных данных (возраст литосферы, магнитное поле) проверить правильность их загрузки. Сохранить созданный файл модели. 2) Используя аппроксимацию простейшими моделями (в Вашем случае – прямоугольными призмами) согласно инструкции, определить в первом приближении параметры источников гравитационных аномалий. 3) С учетом априорных петроплотностных данных сделать вывод о реальности существования объекта с полученной избыточной плотностью в заданном интервале глубин.
2. *Работа рассчитана на 6 часов.* Двумерные трансформации аномального гравитационного поля. Цель работы: изучение возможностей локализации аномалии с использованием различных алгоритмов двумерной фильтрации (фильтры формальные и основанные на интеграле Пуассона).

План практического задания. 1) В программе, предназначенной для расчета двумерных трансформаций потенциального поля, выполнить анализ и трансформации аномалий силы тяжести в редукции Буге. Рассчитать среднее значение на профиле и коэффициенты линейной регрессии, наилучшим образом аппроксимирующей поле. Сгладить поле методом осреднения при разных размерах окна осреднения. Сгладить поле методом низкочастотной фильтрации при разных параметрах. Сгладить поле методом продолжения в верхнее полупространство для разных высот пересчета. Для каждого преобразования выбрать оптимальный параметр, при котором сглаженное поле наилучшим образом отвечает форме контактной границы, а среднечастотные эффекты минимизированы. 2) Рассчитать разностное поле между исходными аномалиями силы тяжести в редукции Буге и пересчитанными в верхнее полупространство для выделения локальной компоненты. 3) Построить графики аномалий поля силы тяжести в редукции Буге согласно заданию. Проанализировать (сравнить) результаты низкочастотной фильтрации, полученные тремя различными методами. Ход рассуждений и выводы изложить письменно.
3. *Работа рассчитана на 8 часов.* Двумерное плотностное моделирование. Цель работы: приобретение первичных навыков построения плотностного разреза с использованием комплекса геолого-геофизических данных (гравитационное и магнитное поля, сейсмические данные, петроплотностные свойства).

План практического задания. 1) В программе интерактивного плотностного моделирования создать плотностную модель, удовлетворяющую низкочастотным аномалиям поля силы тяжести в редукции Буге и максимально учитывающую априорную информацию. 2) Создать блоки модели начального приближения, с

учетом условий, изложенных в задании. 3) Разбивая блоки двух слоев на части и подбирая в них плотности, привести расчетное поле модели к наблюдаемому полю. При подборе плотностей рекомендуется руководствоваться правилами и ограничениями, изложенными в задании. 4) Оформить модель для предоставления в качестве отчетного материала на проверку.

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (зачете):

1. Понятие априорной информации в гравirazведке.
2. Источники априорной информации.
3. Роль априорной информации в процессе интерпретации гравитационных данных.
4. Плотностная модель геологической среды.
5. Аппроксимационные методы решения прямой задачи.
6. Использование прямой задачи при создании первого приближения плотностной модели.
7. Задачи и методы решения прямой задачи гравirazведки.
8. Задачи и методы решения обратной задачи гравirazведки.
9. Краткая характеристика существующих подходов решения обратной задачи.
10. Принципы построения физико-геологических и математических интерпретационных моделей.
11. Метод разделения гравитационного поля на составляющие «Геологическая редукция».
12. Применение фильтра «Осреднение в скользящем окне» для разделения гравитационного поля на низкочастотную и высокочастотную составляющие.
13. Применение фильтров Гаусса и Баттерворта для формального разделения гравитационного поля на составляющие.
14. Метод разделения гравитационного поля на низкочастотную и высокочастотную компоненты «Продолжение гравитационного поля в верхнее полупространство».
15. Методы выделения локальных аномалий гравитационного поля с помощью трансформации «Вычисление вертикальной производной гравитационного в верхнем полупространстве».
16. Методы выделения градиентов гравитационного поля с помощью трансформации «Вычисление горизонтальных производных гравитационного в верхнем полупространстве».
17. Алгоритм и основные процедуры двумерного интерактивного подбора глубинного плотностного разрез в зависимости от информативности априорных геолого-геофизических данных.

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

Оценка результатов обучения	Незачет	Зачет
Знания - роль априорной информации при анализе источников аномального гравитационного поля; - методы разделения на составляющие аномального гравитационного поля, заданного на профиле;	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания

<p>- основные принципы интерактивного составления двумерных плотностных моделей по аномалиям гравитационного поля с использованием априорной информации (устный опрос)</p>		
<p>Умения - собрать априорную информацию, необходимую для определения параметров источников аномального гравитационного поля; - подобрать оптимальный метод разделения на составляющие гравитационного поля, заданного на профиле; - определять задачи, которые можно решить с использованием специализированных вычислительных программных комплексов, предназначенных для интерактивного моделирования плотностных разрезов по гравитационному полю; - оставлять двумерные плотностные модели по аномалиям гравитационного поля с использованием априорной информации; (устный опрос)</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений</p>	<p>Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)</p>
<p>Навыки (владения, опыт деятельности) - навыками использования априорной информации при подготовке к интерактивному плотностному моделированию источников аномального гравитационного поля вдоль профиля; - навыками разделения на составляющие аномального гравитационного поля, заданного на профиле, в одном из</p>	<p>Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков</p>	<p>Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме</p>

<p>специализированных вычислительных программных комплексов; - первичными навыками работы в одном из специализированных вычислительных программных комплексов, предназначенных для интерактивного моделирования плотностных разрезов по гравитационному полю; - основными навыками составления двумерных плотностных моделей по аномалиям гравитационного поля с привлечением априорной информации в специализированных вычислительных программных комплексах. (устный опрос)</p>		
---	--	--

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;
4. **Signproc.exe** – автор: Gordon Cooper. The School of Geosciences, the Faculty of Science at the University of the Witwatersrand, Johannesburg.
5. 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. Данные о возрасте литосферы
http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/ocean_age/data/2008/grids/age/
4. Данные о рельефе поверхности Мохо по данным спутниковой миссии GOCE
<http://gocedata.como.polimi.it/>
5. Программное обеспечение GravMagInv <https://www.gravmaginv.ru/>
6. 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.