

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

Сейсмо-гравитационное моделирование

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

Уровень высшего образования:

Магистратура ММ

Направление подготовки:

05.04.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Геофизика

Форма обучения:

Очная

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

Москва 20__

Рабочая программа дисциплины 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 «Сейсмо-гравитационное моделирование» является изучение алгоритмов и методик построения согласованных сейсмо-гравитационных моделей.

Задачи – освоение студентами технологии построения геоплотностного разреза на основе данных сейсморазведки и гравиразведки.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный цикл, дисциплина по выбору модуля «Гравимагниторазведка», курс – 2, семестр – 3.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Общая геология», «Геотектоника», «Геология и геохимия нефти и газа», «Сейсморазведка», «Гравиразведка», «Некорректные задачи геофизики», «Геофизические исследования скважин», «Петрофизика», «Комплексирование геофизических методов», «Прямая и обратная задачи гравимагниторазведки», «Методы обработки и интерпретации гравимагнитных данных», «Геологическая интерпретация гравимагнитных данных».

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

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

ОПК-3 – Способность в процессе решения профессиональных задач самостоятельно получать, интерпретировать и обобщать результаты, разрабатывать рекомендации по их практическому использованию (формируется частично)

ОПК-4 – Способность применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки (формируется частично),

ПК-1. Способность самостоятельно проводить научные исследования с помощью современного оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (формируется частично).

ПК-2. Способность создавать и исследовать модели изучаемых объектов на основе использования теоретических и практических знаний в области геологии (формируется частично).

ПК-3. Способность использовать специализированные профессиональные теоретические знания и практические навыки для проведения прикладных исследований (формируется частично).

ПК-4. Способность к профессиональной эксплуатации современного полевого/лабораторного оборудования в соответствии с профилем подготовки (формируется частично).

ПК-5. Способность использовать современные методы обработки и интерпретации комплексной информации для решения производственных задач (формируется частично).

ПК-9. Способность проводить семинарские, лабораторные и практические занятия по специальным дисциплинам (формируется частично).

СПК-1. Способность самостоятельно ставить задачи научных и практических исследований в области геофизики, а также решать их с использованием современных подходов к проведению геофизических наблюдений, обработке данных, решению прямых и обратных задач, геологической интерпретации результатов (формируется частично).

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать: основные алгоритмы и методику сейсмо-гравитационного моделирования;

Уметь: создавать согласованную сейсмо-гравитационную модель;

Владеть: методикой сейсмо-гравитационного моделирования.

4. Формат обучения – лекционные и семинарские занятия.

5. Объем дисциплины составляет 2 з.е., в том числе 28 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (8 часов – занятия лекционного типа, 20 часов – занятия семинарского типа), 2 часа – групповые консультации, 8 часов – мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации, 44 академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен

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 «Сейсмо-гравитационное моделирование» излагаются основные методы и подходы совместной интерпретации сейсморазведочных и гравиразведочных данных. Приводятся практические примеры комплексного анализа материалов сейсморазведки и гравиразведки в задачах создания глубинного модели строения Земли; двумерного моделирования геоплотностного разреза вдоль региональных профилей ГСЗ; трехмерного моделирования упругих свойств и плотности на локальных площадях.

На практических занятиях студенты знакомятся с методами построения согласованных сейсмо-гравитационных моделей.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Введение. Обзор задач, требующих совместного анализа сейсморазведочных и гравиразведочных данных. Петрофизическая основа связи упругих свойств и плотности горных пород		2		2	4	Дискуссии, устные опросы, 2 часа
Раздел 2. Подходы и алгоритмы и комплексного анализа сейсморазведочных и гравиразведочных данных.				4	4	Дискуссии, подготовка рефератов, 6 часов
Раздел 3. Модель внутреннего строения Земли по данным сейсмологии и гравиметрии.		2		2	4	Дискуссии, устные опросы, 4 часа
Раздел 4. Методика и результаты региональных сейсмо-гравитационных исследований вдоль геотравверсов.				2	2	Контрольная работа, 4 часа
Раздел 5. Современные подходы трехмерного сейсмо-гравитационного моделирования.		2		2	4	Дискуссии, подготовка рефератов, 6 часов
Раздел 6. Методика обработки и интерпретации малоглубинных сейсмо-гравитационных данных.				4	4	Дискуссии, подготовка рефератов, 6 часов
Раздел 7. Перспективные направления развития комплекса сейсморазведка-гравиразведка.		2		4	6	Дискуссии, подготовка рефератов, 6 часов
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>						10 часов
Итого	72			28		44

Содержание разделов дисциплины:

1. Введение. Геолого-геофизические задачи, требующие совместного анализа сейсморазведочных и гравиразведочных данных. Петрофизическая основа связи упругих параметров и плотности горных пород, эмпирические зависимости скорость-плотность для различных регионов, условий залегания и типов горных пород.

2. Подходы и алгоритмы совместного анализа сейсморазведочных и гравиразведочных данных. Методика комбинированного сеточно-блокового моделирования для построения слоистых и слоисто-блоковых моделей глубинного строения на основе глубин залегания сейсмических поверхностей, интервальных скоростей, априорной плотностной модели. Критерии выбора геометрических параметров модели (размер элементарной ячейки, учет краевых эффектов). Подбор физических параметров между слоями, решение прямой и обратной двумерной и трехмерной задач гравиметрии, оценка невязки между наблюдаемыми и модельными данными.

3. Модель внутреннего строения Земли по данным сейсмологии и гравиметрии. Элементы сейсмологии. Сейсмологические модели Земли. Определение плотности внутри планеты. Уравнение Адамса-Вильямсона. Гравитационное поле планеты. Определение массы планеты. Определение характеристик гравитационного поля Земли. Гравитационное поле и внутреннее строение Земли. Согласование сейсмологической и плотностной моделей.

4. Методика и результаты региональных сейсмо-гравитационных исследований вдоль геотраверсов. Методика построения сейсмодоступной модели, удовлетворяющей наблюдаемому гравитационному полю, условию изостатической уравновешенности модели, степени корреляции между значениями плотности и сейсмической скорости в выделенных частях модели. Построение двумерных согласованных сейсмо-гравитационных моделей вдоль региональных профилей глубинного сейсмического зондирования. Роль априорной геолого-геофизической информации при региональных сейсмо-гравитационных исследованиях.

5. Современные подходы трехмерного сейсмо-гравитационного моделирования. Примеры трехмерного сейсмо-гравитационного моделирования. Построение трехмерной согласованной сейсмо-гравитационной модели на основе сейсмического куба данных и детальных материалов гравитационного поля. Роль ГИС при установлении корреляционных связей плотность – скорость.

6. Методика обработки и интерпретации малоглубинных сейсмо-гравитационных данных. Особенности методики выполнения совместных детальных полевых сейсморазведочных и гравиразведочных работ. Корреляционно-статистические методы, направленные на выделение локальной компоненты гравитационного поля, наилучшим образом отвечающей форме сейсмических горизонтов и скоростным аномалиям в заданном интервале глубин. Методы построения изогипс заданного (исследуемого целевого) горизонта по результатам комплексной интерпретации площадных данных гравиразведки и профильных данных сейсморазведки.

7. Перспективные направления развития комплекса сейсморазведка-гравиразведка. Предельные оценки чувствительности (возможности) гравитационных исследований современными гравиметрами для различных геологических задач. Итерационный метод уточнения скоростного закона на стадии обработки сейсмических данных путем согласования зависимости скорость-плотность и построения плотностной модели, не противоречащей гравитационному полю. Примеры решения практических задач: выявление колебания уровня грунтовых вод при мониторинговых измерениях методами сейсморазведки и гравиразведки.

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

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

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных лабораторных расчетно-графических работ и написании реферата.

Примерный перечень семинарских работ

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.

Примерный перечень рефератов

1. Современные подходы к определению распределения объемной плотности с использованием данных сейморазведки и ГИС.
2. Современные алгоритмы совместной инверсия гравитационных и сейсмических данных для двумерного и трехмерного моделирования земной коры.
3. Синхронная и последовательная инверсия геофизических данных.
4. Совместная трехмерная инверсия мюонной томографии и гравитационных данных.
5. Геологические результаты практической реализации современных подходов совместной интерпретации сейморазведочных и гравиразведочных данных.
6. Построение изображения среды на основе симультанной совместной инверсии сейсмических и гравиметрических данных.
7. Комбинированная глобальная модель границы Мохо, построенная на сейсмических и гравиметрических данных.
8. Комбинированная модель строения земной коры по данным сейсмической томографии и гравитационному полю. Анализ уточненной модели земной коры CRUST1.0 и ее гравитационного поля.
9. Примеры трехмерного гравитационного моделирования сложных соляных или иных структур (в Южной части Мексиканского залива, в Каспийском регионе, на юге Карского моря, в Поволжье, в Восточной Сибири и др.).

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

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

1. Гравитационное поле - источник знаний об истинной форме Земли и о распределении плотности в её внутренних зонах.
2. Сейсмология как метод изучения внутренних процессов и внутреннего строения Земли.
3. Связь сейсмических характеристик с составом и состоянием горных пород. Петрофизическая связь сейсмических параметров и плотности горных пород.
4. Эмпирические зависимости скорость-плотность для различных регионов, условий залегания и типов горных пород. Роль ГИС при установлении этих зависимостей.
5. Возможность построения алгоритма прямой задачи от объемных плотностных разрезов, задаваемых на регулярной сетке - «Куб плотностей» (решение задачи в спектральной области). Критерии выбора геометрических параметров модели.
6. Понятие прямой и обратной задачи гравиразведки. Физико-геологические и математические модели интерпретации.
7. Обратная задача определения избыточной плотности в изолированном объеме. Регуляризирующий алгоритм решения задачи.

8. Сейсмологические модели Земли. Уравнение Адамса-Вильямсона. Принципы построения согласованной сейсмологической и плотностной модели.
9. Плотностные модели земной коры и литосферы типичных региональных структур и особенности их проявления в физических полях.
10. Проблема разделения потенциальных полей на составляющие. Использование «геологической редукции» как метода разделения полей. Возможные подходы к построению алгоритмов разделения полей.
11. Построение контактной поверхности по гравиметрическим данным и сейсморазведки на эталонном участке. Регуляризирующий алгоритм решения задачи.
12. Корреляционно-статистический подход фильтрации для выделения локальной компоненты гравитационного поля наилучшим образом отвечающей форме сейсмических горизонтов или скоростным аномалиям в заданном интервале глубин.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: основные алгоритмы и методики сейсмогравитационного моделирования	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: создание согласованных сейсмогравитационных моделей	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы	Успешное создание согласованных сейсмогравитационных моделей
Владения: методами сейсмогравитационного моделирования	Навыки владения методами отсутствуют	Фрагментарное владение методами сейсмогравитационного моделирования	В целом сформированные навыки использования методов сейсмогравитационного моделирования	Владение методами сейсмогравитационного моделирования

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

- Соколова Т.Б., Булычев А.А., Лыгин И.В., Старовойтов А.В., Тевелев Ал.В., Шалаева Н.В. Интерпретация геофизических материалов. УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. Тверь, ООО "Издательство ГЕРС", 2011. - 208 с.
- Элланский М.М. Петрофизические связи и комплексная интерпретация данных промысловой геофизики. М.: Недра, 1978. 254 с.

- дополнительная литература:

- Gardner, G. H. F., L. W. Gardner, and A. R. Gregory (1974). Formation velocity and density—the diagnostic basics for stratigraphic traps, *Geophysics* 39, 770—780.
- Lacombe Ph. Laurent, Angelier, Calcite Twins as a Key to Paleostresses in Sedimentary Basins: Preliminary Results from Drill Cores of the Paris Basin. In: *Peri-Tethyan Platforms* (ed. F. Roure), 1994, P. 197-210.
- Андреев Б.А., Клушин И.Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. Л.: Недра, 1965. 405 с.
- Викулин А.В. Физика Земли и геодинамика. Учебное пособие для геофизических специальностей вузов. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КамГУ им. Витуса Беринга, 2008. 463 с. ISBN 5-7968-0358-1 (978-5-7968-0358-5)
- Гаврилов В.П. Геотектоника. Учебник.
- Крылов С.В. Развитие петрофизических основ глубинного сейсмического зондирования на Р- и S- волнах в кн.: Геофизические исследования литосферы. Киев: Наукова думка, 1993. С. 105-115.
- Никитин А.А. Использование статистической теории обнаружения сигналов для выделения слабых геофизических аномалий // Изв. вузов. Геология и разведка. 1977. № 6. С. 77-87.
- Павленкова Н.И., Погребницкий Ю.Е., Романюк Т.В. Сейсмо-плотностная модель коры и верхней мантии Южной Атлантику по Анголо-Бразильскому геотраверсу. *Физика Земли*, 1993, № 10, с. 27-38.
- Петров А.В., Трусов А.А. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа трехмерной геоинформации КОСКАД 3D // *Геофизика*. 2000. № 4. С. 29-33.
- Приезжев И.И. Уточнение геологической модели по данным гравитационного поля на основе критериальных методов решения обратных задач // *Геофизика*. 2010. № 1. С. 65-68.
- Серкерев С.А. Корреляционные методы анализа в гравиразведке и магниторазведке. М.: Недра, 1986. 247 с
- Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли: Учебник. Под ред. академика РАН В.А. Садовниченко – М.: Изд-во МГУ, 2002. ISBN 5–211–04660–9.
- Страхов В.Н., Романюк Т.В., Фролова Н.К. Методы решения прямых задач гравиметрии, используемые при моделировании глобальных и региональных гравитационных аномалий // В кн.: Новые методы интерпретации гравитационных и магнитных аномалий. 1989. Москва: ИФЗ. С. 118-235.
- Страхов В.Н., Романюк Т.В. Восстановление плотностей земной коры и верхней мантии по данным ГСЗ и гравиметрии I. Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1984, №6, с. 44-63.
- Романюк Т.В., Страхов В.Н. Восстановление плотностей земной коры и верхней мантии по данным ГСЗ и гравиметрии II. Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1984, №7, с. 64-80.

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения, пакеты программ

- Geosoft Oasis Montaj,
- COSCAD-3Dt,
- Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint).

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- модель морской береговой линии GSHHG и др.;
- модели рельефа морского дна и дневного рельефа Topex-relief, SRTM, ETOPO1 и др.;
- модели аномального гравитационного поля Земли Topex-gravity, WGM2012 и др.;
- модели земной коры CRUST, мощности осадочного чехла SEDTHICK, литосферы LITHO и др.

Г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- специальные вычислительные и логические компьютерные программы, созданные сотрудниками и преподавателями кафедры Геофизики Геологического факультета МГУ;

Д) Материально-технического обеспечение:

- персональные компьютеры;

- аудитория, оборудованная проектором, экраном, персональным компьютером преподавателя.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватели – Лыгин И.В., Булычев А.А., Золотая Л.А.

11. Авторы программы – Лыгин И.В., Булычев А.А., Золотая Л.А.