

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

Геологический факультет

«Утверждаю»

декан Геологического факультета

академик Д.Ю. Пущаровский

«____» _____ 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Сейсмо-гравитационное моделирование

Seismic and gravity modelling

Авторы-составители:

проф. Булычев А.А., доц. Лыгин И.В., доц. Золотая Л.А.

Направление подготовки 05.04.01 «Геология»

Профиль: «Геофизика»

Магистерская программа: «Малоглубинная и глубинная геофизика»

Квалификация (степень) выпускника: *магистр*

Программа одобрена на заседании Ученого совета Геологического
факультета МГУ

(протокол № ____ от _____)

Москва

2018

Содержание

1. Цели и задачи дисциплины:	3
2. Место дисциплины в структуре ООП:	3
2.1. Информация об образовательном стандарте и учебном плане:.....	3
2.2. Информация о месте дисциплины в учебном плане:.....	3
2.3. Перечень дисциплин, которые должны быть освоены до начала освоения данной дисциплины:.....	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины.....	3
3.1. Перечень компетенций.	3
3.2. Компоненты формируемых компетенций.....	4
4. Структура и содержание дисциплины.....	4
4.1. Общая трудоемкость:	4
4.2. Виды учебной работы с указанием суммарной трудоемкости по каждому виду:	4
4.3. Формы текущего контроля	5
4.4. Форма промежуточной аттестации.....	5
4.5. Краткое содержание дисциплины (аннотация)	5
4.6. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и темам, а также видам учебной работы (формам проведения занятий) с указанием форм текущего контроля и промежуточной аттестации	5
4.7. Содержание дисциплины.....	6
5. Рекомендуемые образовательные технологии	7
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.	7
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	8
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины	9
9. Авторы-составители	9

Наименование дисциплины:

Сейсмо-гравитационное моделирование

1. Цели и задачи дисциплины:

Цель – изучение алгоритмов и методик построения согласованных сейсмо-гравитационных моделей.

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

2. Место дисциплины в структуре ООП:

2.1. Информация об образовательном стандарте и учебном плане:

- тип образовательного стандарта и вид учебного плана: **ОС МГУ, учебный план магистра**
- направление подготовки: **05.04.01 Геология**
- наименование учебного плана: **Учебный план ИМ Геофизика**
- профиль подготовки: **Геофизика**
- магистерская программа: **Малоглубинная и глубинная геофизика, модуль Малоглубинная геофизика**

2.2. Информация о месте дисциплины в учебном плане:

- **вариативная часть**
- блок дисциплин: **профессиональный**
- тип – **дисциплина по выбору**
- курс **2 г/о**
- семестр **3.**

2.3. Перечень дисциплин, которые должны быть освоены до начала освоения данной дисциплины:

- общая геология;
- геотектоника;
- геология и геохимия нефти и газа;
- сейсморазведка;
- гравиразведка;
- некорректные задачи геофизики;
- геофизические исследования скважин;
- петрофизика;
- комплексирование геофизических методов.

3. Требования к результатам освоения дисциплины

3.1. Перечень компетенций.

Процесс изучения дисциплины «Сейсмо-гравитационное моделирование» направлен на формирование следующих **компетенций**:

б) общенаучные (ОНК):

- способность анализировать и оценивать философские проблемы при решении социальных и профессиональных задач (ОНК-1);

в) инструментальные (ИК):

- владение терминологией специальности на иностранном языке; умение готовить публикации, проводить презентации (ИК-1);

г) системные (СК):

- способность к творчеству, порождению инновационных идей, выдвижению

- самостоятельных гипотез (СК-1);
- способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации, к постановке целей исследования и выбору оптимальных путей и методов их достижения (СК-2);
- способность к самостоятельному обучению и разработке новых методов исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля деятельности; к инновационной научно-образовательной деятельности (СК-3);

д) общепрофессиональные (ПК):

- способность глубоко осмысливать и формировать диагностические решения проблем геологии путем интеграции фундаментальных разделов геофизики и специализированных геологических знаний (ПК-1);
- способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области геофизики и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий, с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-2);
- способность свободно и творчески пользоваться современными методами обработки и интерпретации комплексной геологической и геофизической информации для решения научных и практических задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности (ПК-6);
- готовность к проектированию комплексных научно-исследовательских и научно-производственных работ при решении геологических и геофизических задач (ПК-10);

е) специализированные профессиональные (СПК):

- способность использовать специализированные знания в области разведочной геофизики для решения научно-исследовательских задач (СПК-1);
- способность использовать специализированные знания фундаментальных разделов математики, физики, химии, экологии для освоения теоретических основ в области разведочной геофизики (СПК-2);
- способность использовать специализированные информационные технологии для решения задач в области разведочной геофизики (СПК-3);
- способность использовать современные методы комплексной обработки и интерпретации результатов разведочной геофизики для решения научных и практических задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности (СПК-4);
- способность использовать специализированные знания в области разведочной геофизики для решения практических задач (СПК-5).

3.2. Компоненты формируемых компетенций.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- знать:** основные алгоритмы и методику сейсмо-гравитационного моделирования;
- уметь:** создавать согласованную сейсмо-гравитационную модель;
- владеть:** методикой сейсмо-гравитационного моделирования.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Общая трудоемкость:

1 зачетная единица, 36 академических часов.

4.2. Виды учебной работы с указанием суммарной трудоемкости по каждому виду:

- лекции – 8 час;
- лабораторные работы – 8 час;
- практические занятия – 0 час;
- семинары – 12 час;

самостоятельная работа – 8 час.

4.3. Формы текущего контроля

– рефераты, доклады по дисциплине, контрольные работы, устные опросы, сдача расчетно-графических работ.

4.4. Форма промежуточной аттестации

–зачет

4.5. 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.

4.6. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и темам, а также видам учебной работы (формам проведения занятий) с указанием форм текущего контроля и промежуточной аттестации

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов (трудоемкость в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуто чной аттестации (по семестрам)
				лекции	семи- нары	практ. зая- тия	лаб. рабо- ты	самост. работа	
1	Введение. Обзор задач, требующих совместного анализа сейсморазведочных и гравиразведочных данных. Петрофизическая основа связи упругих свойств и плотности горных пород	3	1-2	2			2	2	
2	Подходы и алгоритмы и комплексного анализа сейсморазведочных и гравиразведочных данных.	3	3-4		2		2		Собеседование
3	Модель внутреннего строения Земли по данным сейсмологии и гравиметрии.	3	5-6	2	2			2	Контрольная работа. Собеседование
4	Методика и результаты	3	7-		2		2		Контроль

	региональных сейсмо-гравитационных исследований вдоль геотраверсов.		8						ая работа. Собеседование
5	Современные подходы трехмерного сейсмо-гравитационного моделирования.	3	9-10	2	2			2	Собеседование
6	Методика обработки и интерпретации малоглубинных сейсмо-гравитационных данных.	3	11 - 12		2		2	2	Контрольная работа. Собеседование Реферат. Доклад.
7	Перспективные направления развития комплекса сейсморазведка-гравиразведка.	3	13 - 14	2	2				Собеседование
Промежуточная аттестация		3							Зачет
Всего: 1 ЗЕ или 36 часов				8	12		8	8	

4.7. Содержание 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 сейсмоплотностной 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.

5. Рекомендуемые образовательные технологии

При реализации программы дисциплины «Сейсмо-гравитационное моделирование» используются следующие образовательные технологии – во время аудиторных занятий (28 часа) занятия проводятся в виде лекций и семинаров с использованием ПК и компьютерного проектора и лабораторных занятий в гравиметрической и магнитометрической лабораториях или компьютерном классе отделения Геофизики Геологического факультета МГУ с использованием специальных вычислительных программ. Самостоятельная работа студентов (8 часов) подразумевает работу под руководством преподавателей (консультации и помощь в выполнении лабораторных работ) и индивидуальную работу студента в компьютерном классе отделения Геофизики или библиотеке Геологического факультета МГУ.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Примерный перечень тем рефератов

1. Современные подходы к определению распределения объемной плотности с использованием данных сейсморазведки и ГИС.
2. Современные алгоритмы совместной инверсии 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 сейсморазведочных 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.

10. Трехмерное гравитационное моделирование сложных соляных структур в Южной части Мексиканского залива.

Примерный перечень вопросов при проведении текущего контроля и промежуточной аттестации:

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.

Примерный перечень тем лабораторных 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.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. 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.
2. 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.
3. 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.

б) дополнительная литература:

1. 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.
5. 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.
6. Андреев Б.А., Клушин И.Г. Геологическое истолкование гравитационных аномалий. Л.: Недра, 1965. 405 с.
7. 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)
8. Гаврилов В.П. Геотектоника. Учебник.
9. 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.
10. Никитин А.А. Использование статистической теории обнаружения сигналов для выделения слабых геофизических аномалий // Изв. вузов. Геология и разведка. 1977. № 6. С. 77-87.
11. Павленкова Н.И., Погребницкий Ю.Е., Романюк Т.В. Сейсмо-плотностная модель коры и верхней мантии Южной Атлантики по Анголо-Бразильскому геотраверсу. Физика Земли, 1993, № 10, с. 27-38.
12. Петров А.В., Трусов А.А. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа трехмерной геоинформации КОСКАД 3D // Геофизика. 2000. № 4. С. 29-33.
13. Приезжев И.И. Уточнение геологической модели по данным гравитационного поля на основе критериальных методов решения обратных задач // Геофизика. 2010. № 1. С. 65-68.
14. Серкерев С.А. Корреляционные методы анализа в гравиразведке и магниторазведке. М.: Недра, 1986. 247 с.
15. 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.
16. 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.
17. Элланский М.М. Петрофизические связи и комплексная интерпретация данных промысловой геофизики. М.: Недра, 1978. 254 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (лицензионное программное обеспечение не требуется):

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

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- а) помещения для проведения лекционных и семинарских занятий – аудитория, рассчитанная на группу из 8-16 учащихся;
- б) помещения для проведения лабораторных работ – компьютерные классы;
- в) оборудование лекционное – мультимедийный проектор, компьютер, экран, выход в Интернет;
- г) оборудование для лабораторных работ – персональные компьютеры.

9. Авторы-составители

- 1. Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор А.А. Булычев. Рабочий телефон – 8 (495) 939 57 66, e-mail – aabul@geophys.geol.msu.ru
- 2. Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, доцент И.В. Лыгин. Рабочий телефон – 8 (495) 939 30 13, e-mail – ivanlygin@mail.ru
- 3. Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, доцент Л.А. Золотая. Рабочий телефон – 8 (495) 939 1235, e-mail – zolotaya@eage.ru