

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ
и.о. декана Геологического факультета
чл.-корр. РАН _____/Н.Н.Ерёмин/
«__» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Геодинамика и математическое моделирование

Автор-составитель: Захаров В.С.

Уровень высшего образования:
Бакалавриат

Направление подготовки:
05.03.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:
Геология и полезные ископаемые

Форма обучения:
Очная

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

Москва

Рабочая программа дисциплины (модуля) 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*).

Год (годы) приема на обучение: 2022

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

Цель и задачи дисциплины

Цель – получение студентами знания о компьютерном моделировании, принципах, методах и особенностях этого вида моделирования в геодинамике.

Задачи: рассмотрение геологических процессов с точки зрения действующих сил и энергий, с методами построения компьютерных моделей в геодинамике; углубить практические навыки компьютерного моделирования.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Геодинамика рассматривает геологические процессы с точки зрения действующих сил и энергий. В геодинамике широко применяется приближение сплошной среды, которое позволяет применить хорошо разработанные физико-математический методы теории упругих деформаций, течения идеальной и вязкой жидкости, тепло- и массопереноса и т.п. Рассматриваются модели локальной изостазии, модель региональной изостазии, области их применимости, нестационарная задача теплопроводности в геодинамике.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП – относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: базируется на знаниях по дисциплинам «Высшая математика», «Физика», «Основы математического моделирования».

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников (коды)	Индикаторы (показатели) достижения компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), 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 (формируется частично).	Б.ОПК-1. И-2. Использует базовые знания фундаментальных разделов наук о Земле в профессиональной деятельности	Знать: основы приближения сплошной среды, теплопереноса в геодинамике; принципы построения геодинамических численных моделей. Уметь: построить теоретическую модель для различных моделей изостазии и модели теплопроводности, осуществить компьютерное моделирование для решения этих геодинамических задач, исследовать влияние параметров на полученные результаты.
СПК-1.Б Способен решать научные и практические задачи на основе углубленных знаний в области региональной геологии, геотектоники и геодинамики, литологии и морской геологии, палеонтологии, геологии полезных	Б.СПК-1. И-1. Использует и применяет знания и навыки в области геологии, геотектоники, геоморфологии, тектонофизики, палеомагнитологии, неотектоники, физики Земли, геодинамики при	Знать: методы моделирования изостазии и процессов теплопроводности и владеть практическими навыками проведения численного моделирования для решения геодинамических задач

ископаемых (формируется частично).	решении научных и практических задач	
--	---	--

4. Объем дисциплины (модуля) составляет **2** з.е., в том числе **22** академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (11 часов лекции и 11 часов семинары), **50** академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен

5. Формат обучения не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.)

6. Содержание дисциплины (модуля), 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 (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	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	Занятия семинарского типа	Всего	Расчетно-графические работы	Работа с литературой (включая подготовку доклада)	Подготовка реферата	Подготовка к контрольному опросу	Всего
Раздел 1. Введение	1	1			1					
Раздел 2. Модели локальной изостазии.	7	3			3	4				6
Раздел 3. Модель региональной изостазии.	24	3		3	6	18				20
Раздел 4. Моделирование нестационарной теплопроводности для решения геодинамических задач.	30	4		8	12	18				20
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	10	<i>Устный экзамен</i>				4				
Итого	72	22				50				

Содержание лекций, семинаров

Содержание лекций

Раздел 1. Введение. Понятие о моделях и моделировании. Принципы и методы построения и анализа математических моделей. Численные методы и математическое моделирование. Компьютерное моделирование в науках о Земле. Геодинамическое численное моделирование. Общие методы и подходы физики сплошной среды в геодинамическом моделировании: методы теории упругих деформаций, течения идеальной и вязкой жидкости, тепло- и массопереноса и т.п.

Раздел 2. Модели локальной изостазии. Понятие об изостазии. Проявления изостазии и ее нарушения в гравитационных аномалиях в свободном воздухе, Буге, изостатических. Модели локальной изостазии. Физические основы изостазии (равновесия сил тяжести и выталкивающей Архимедовой силы). Схемы локальной изостазии Эри и Пратта, их различия. Формулы расчета в случае орогена и депрессии. Области применимости изостатических моделей. Практический расчет изостазии для заданной нагрузки.

Раздел 3. Модель региональной изостазии. Модель региональной изостазии с учетом упругой литосферы. Степень изостатической компенсации, ее связь с упругими характеристиками литосферы и размерами горизонтальной нагрузки. Некоторые методы решения уравнения упругого изгиба. Численное решение уравнения региональной изостазии в конечных разностях для случая однородной и неоднородной литосферы. Примеры применения модели упругого изгиба в геологии и геофизике. Практический расчет региональной изостазии для заданной нагрузки. Зависимость от параметров модели. Сопоставление со схемой локальной изостазии.

Раздел 4. Моделирование нестационарной теплопроводности для решения геодинамических задач. Постановка задачи, уравнение теплопроводности, граничные условия, параметры (теплофизические и геометрические). Анализ устойчивости решений. Численное решение двумерной нестационарной задачи теплопроводности методом конечных разностей. Моделирование теплового режима остывания интрузивного тела. Модель теплопроводности для неоднородной среды с переменными параметрами, зависящими от вещества и от температуры. Практическая реализация моделей. Зависимость решения от параметров модели.

План проведения семинаров.

1. Обсуждение принципов и методов численного геодинамического моделирования
2. Обсуждение и практическое применение методов расчета локальной изостазии.
3. Обсуждение и практическое применение методов расчета региональной изостазии.
4. Обсуждение и практическое применение методов расчета региональной изостазии для однородной литосферы.
5. Обсуждение и практическое применение методов расчета региональной изостазии для неоднородной литосферы.
6. Обсуждение и практическое применение методов решения двумерной нестационарной задачи теплопроводности методом конечных разностей с постоянными параметрами.
7. Обсуждение и практическое применение методов решения двумерной нестационарной задачи теплопроводности методом конечных разностей с переменными параметрами.

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 расчетных работ.

Примерные темы расчетно-графических работ

1. Модели локальной изостазии. Схемы Эри и Пратта
2. Модель региональной изостазии с учетом упругой литосферы
3. Модель региональной изостазии для случая неоднородной упругой литосферы
4. Сопоставление моделей локальной региональной изостазии с учетом упругой литосферы при различных параметрах.
5. Моделирование теплового режима остывания интрузивного тела с постоянными параметрами.
6. Моделирование теплового режима остывания интрузивного тела с переменными параметрами.

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (экзамене):

1. Принципы геодинамического численного моделирования.
2. Понятие и физические основы изостазии.
3. Схемы локальной изостазии Эри и Пратта, их различия.
4. Формулы расчета локальной изостазии в случае орогена и депрессии
5. Проявления изостазии и ее нарушения в гравитационных аномалиях.
6. Модель региональной изостазии с учетом упругой литосферы.
7. Некоторые методы решения уравнения упругого изгиба.
8. Степень изостатической компенсации, ее связь с упругими характеристиками литосферы и размерами горизонтальной нагрузки.
9. Численное решение уравнения региональной изостазии методом конечных разностей для однородного случая.
10. Численное решение уравнения региональной изостазии методом конечных разностей для неоднородного случая.
11. Зависимость решения от свойств литосферы.
12. Примеры применения модели упругого изгиба в геологии и геофизике.
13. Стационарная задача теплопроводности.
14. Нестационарная задача теплопроводности.
15. Граничные условия, параметры задачи теплопроводности.
16. Понятие об устойчивости решений уравнения теплопроводности.
17. Численное решение одномерного уравнения теплопроводности методом конечных разностей.
18. Двумерная нестационарная задача теплопроводности.
19. Моделирование теплового режима остывания интрузивного тела.
20. Модель теплопроводности для неоднородной среды с переменными параметрами.

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

Результаты обучения, соответствующие виды оценочных средств	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания (устный опрос) основных принципов	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания

построения геодинамических численных моделей.				
Умения (устный опрос) осуществить компьютерное моделирование изостазии и теплопроводности	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы в умении осуществить компьютерное моделирование.	Успешное умение осуществить компьютерное моделирование изостазии и теплопроводности
Навыки (владения, опыт деятельности) (устный опрос) численного моделирования для решения геодинамических задач.	Навыки владения численного моделирования отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки численного моделирования	Владение навыками численного моделирования для решения геодинамических задач.

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

1. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. В 2-х т. М.: "Мир", 1985. 730 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде)
2. Харбух Д., Бонэм-Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии. М.: "Мир", 1974. 319 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).

- дополнительная литература:

1. Андерсон Д., Таннехилл Д., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В 2-х т. М.: Мир, 1990. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде)
2. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1999. 798 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде)
3. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: КДУ, 2005. 560 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде)
4. Gerya T.V. Introduction to numerical geodynamic modelling. 2nd edition. New York: Cambridge University Press. 2019, 472 p. (электронная в кафедральном фонде).
5. Ismail-Zadeh A., Tackley P.J. Computational Methods for Geodynamics. New York: Cambridge University Press. 2010. 313 p. (электронная в кафедральном фонде).
6. Turcotte D.L., Schubert G. Geodynamics. 3rd eds. Cambridge: Cambridge University Press. 2014. 626 p. (электронная в кафедральном фонде).

Б) Перечень программного обеспечения:

- лицензионное

нет

- нелицензионное и свободного доступа

язык программирования Python, пакет программ Open Office

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

- реферативная база данных издательства Elsevier: www.sciencedirect.com
- U.S. Geological Survey. www.usgs.gov.
- Computational Infrastructure for Geodynamics (CIG). <https://geodynamics.org/>.
- Справочная система языка программирования Python 3. <https://www.python.org/doc/>.

Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- поисковая система научной информации www.scopus.com
- электронная база научных публикаций www.webofscience.com
- язык программирования Python 3. <https://www.python.org/download/releases/3.0/>.
- среда разработки программ PyCharm. <https://www.jetbrains.com/ru-ru/pycharm/> .
- интерактивная оболочка Jupyter Notebook. <https://jupyter.org/> .
- пакет Anaconda. <https://www.anaconda.com>.
- редактор Notepad++. <https://notepad-plus-plus.org/downloads/>.

Д) Материально-технического обеспечение:

Учебная аудитория с мультимедийным проектором
Компьютерный класс.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель (преподаватели): Ответственный за курс — Захаров В.С. (сотрудник каф. динамической геологии), преподаватели: Захаров В.С., Завьялов С.П.

11. Разработчики программы: профессор Захаров В.С.