

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

Прикладные аспекты компьютерного моделирования в геодинамике

Автор-составитель: Захаров В.С.

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

05.04.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Геотектоника и геодинамика

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: углубление знаний о компьютерном моделировании, принципах и методах и особенностях этого вида моделирования в геодинамике.

Задачи: развить у студентов представления о геологических процессах с точки зрения действующих сил и энергий, углубить знания о методах построения компьютерных моделей в геодинамике; развить практические навыки компьютерного моделирования.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В курсе рассматривается приближение сплошной среды для задач геодинамики, основы метода конечных разностей (МКР), деформации и напряжения, закон теплопередачи, численное решение уравнения теплопроводности, приближение вязкой среды, численное решение уравнений движения, уравнение адвекции и его численное решение. Рассматривается метод маркеров в ячейках для численного моделирования 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», «Геотектоника», «Физика Земли», «Основы математического моделирования», «Геодинамика и математическое моделирование», «Компьютерное моделирование геодинамических процессов», «Основы механики сплошной среды для геологических исследований».

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-6.М Способен использовать современные вычислительные методы и компьютерные технологии для решения задач профессиональной деятельности (формируется частично).	М.ОПК-6. И-1. Выбирает способы обработки данных и программные средства для решения задач профессиональной деятельности с учетом основных требований информационной безопасности	Знать: основы приближения сплошной среды, основы методов тепло- и массопереноса в геодинамике, знать основные этапы моделирования; принципы построения моделей. Уметь: под руководством преподавателя выбрать теоретическую модель и численный метод, провести компьютерное моделирование для решения базовых геодинамических задач Владеть: навыками использования основных методов моделирования для решения геодинамических задач

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе 39 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (лекции и семинары вместе), 33 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 (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	2	2			2					
Раздел 2. Приближение сплошной среды для задач геодинамики.	9	2		2	4	5				5
Раздел 3. Основы метода конечных разностей.	13	2		4	6	7				7
Раздел 4. Решение уравнения теплопроводности.	16	3		6	9	7				7
Раздел 5. Решение уравнений движения.	17	4		6	10	7				7
Раздел 6. Решение уравнения адвекции.	13	2		4	6	7				7
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>	2	2								
Итого	72	39				33				

Содержание лекций, семинаров

Содержание лекций

Раздел 1. Введение. Необходимость и востребованность численного моделирования в геодинاميке. Представление результатов моделирования, визуализация. Приближение сплошной среды для задач геодинاميки. Основы механики сплошной среды. Упругая, вязкая, пластическая среда, основные соотношения. Базовые уравнения механики сплошной среды: уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости, уравнение Пуассона, их применение для геодинاميического моделирования. Граничные и начальные условия, разные виды.

Раздел 3. Основы метода конечных разностей. Численные методы решения дифференциальных уравнений. Понятие о методе конечных разностей (МКР). Дискретизация области определения, построение сетки, представление производных в конечных разностях. Построение разностных аналогов уравнений. Сходимость и устойчивость разностных схем, погрешность аппроксимации. Сведение к системе алгебраических уравнений, методы их решений. Конечные разности на разнесенной сетке. Численное решение уравнения неразрывности и Пуассона методом конечных разностей.

Раздел 4. Решение уравнения теплопроводности. Уравнение теплопроводности, его геодинاميические применения. Представление уравнения теплопроводности в конечных разностях. Консервативные и неконсервативные разностные схемы. Явные и неявные схемы численного решения, их преимущества и недостатки. Граничные условия первого, второго рода и смешанные, их численное представление в конечных разностях. Численное решение уравнения теплопроводности, практическая реализация. Геодинاميические приложения решения задачи теплопроводности.

Раздел 5. Решение уравнений движения. Двумерное уравнение движения вязкой жидкости. Уравнение Навье-Стокса. Течение очень вязкой несжимаемой жидкости. Уравнение Стокса, его применение в вычислительной геодинاميке. Дискретизация уравнения Стокса, применение разнесенной сетки. Система локальных и глобальных индексов, применяемых при дискретизации. Сведение к системе линейных уравнений с разреженной матрицей. Граничные условия, их виды и представление в дискретном виде.

Раздел 6. Решение уравнения адвекции. Понятие об адвекции. Двумерное уравнение адвекции. Методы решения уравнения адвекции. Эйлеров и Лагранжев подход к решению. Метод лагранжевых маркеров (частиц) в ячейках для описания движения вещества. Дискретизация уравнения на разнесенной сетке. Интерполяция значений переменных и параметров между маркерами и узлами сетки. Сведение к системе линейных уравнений с разреженной матрицей. Численное решение уравнения адвекции. Геодинاميические приложения.

План проведения семинарских занятий:

1. Приближение сплошной среды для задач геодинاميки.
2. Численное решение уравнения неразрывности и Пуассона.
3. Численное решение уравнения теплопроводности.
4. Численное решение уравнений движения.
5. Численное решение уравнений адвекции.

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 контрольных опросах.

Примерный перечень вопросов для текущей аттестации:

1. Приближение сплошной среды для задач геодинамики.
2. Упругая, вязкая, пластическая среда, основные соотношения.
3. Основные положения метода конечных разностей.
4. Уравнение неразрывности и уравнение Пуассона
5. Метод численного решения уравнения Стокса.
6. Явные и неявные схемы численного решения уравнения теплопроводности.
7. Геодинамические приложения решения задачи теплопроводности.
8. Эйлера и Лагранжевы подходы к решению уравнения адвекции.
9. Метод маркеров в ячейках в вычислительной геодинамике.
10. Численное решение уравнения адвекции.

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной очной аттестации (зачет е):

1. Приближение сплошной среды для геологической среды.
2. Упругая, вязкая, пластическая среда, основные соотношения.
3. Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости.
4. Уравнений Пуассона.
5. Граничные и начальные условия, разные виды.
6. Численные методы решения дифференциальных уравнений.
7. Конечные разности на разнесенной сетке.
8. Система локальных и глобальных индексов, применяемых при дискретизации.
9. Основные уравнения движения сплошной среды, дать анализ их применимости.
10. Уравнение Навье-Стокса и Стокса.
11. Методы дискретизации уравнений движения.
12. Система локальных и глобальных индексов, применяемых при дискретизации.
13. Уравнение теплопроводности, его геодинамические применения.
14. Описать основные способы теплопередачи, основные уравнения.
15. Явные и неявные схемы численного решения, их преимущества и недостатки.
16. Дискретизация уравнения теплопереноса.
17. Численное решение уравнения теплопроводности.
18. Эйлера и Лагранжевы подходы к решению.
19. Уравнение адвекции и методы его дискретизации.
20. Методы решения уравнения адвекции.

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

Оценка результатов обучения, соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет
Знания (устный опрос) основы приближения сплошной среды, основы методов тепло- и массопереноса в геодинамике, знать основные этапы моделирования; принципы	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания

построения моделей		
Умения (<i>устный опрос</i>) выбирать теоретическую модель и численный метод, проводить компьютерное моделирование для решения базовых геодинамических задач	В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений	Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)
Владения (<i>устный опрос</i>) навыками использования основных методов моделирования для решения геодинамических задач	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме

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).
3. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: КДУ, 2010. 559 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).
1. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. В 2-х т. М., Мир, 1969. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
2. Реология. Теория и приложения. Под ред Ф.Эйриха. М.: Изд. иностр. лит., 1962. 824 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
3. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1999. 798 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/](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 кафедры динамической геологии), преподаватели: Захаров В.С.

11. Разработчики программы: профессор Захаров В.С.