

УТВЕРЖДАЮ
Декан геологического факультета МГУ,
академик _____ Д.Ю. Пущаровский
2 сентября 2015 г.

Рабочая программа дисциплины Компьютерное моделирование в геодинамике

1. Код и наименование дисциплины (модуля) - **Компьютерное моделирование в геодинамике**
2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.
3. Направление подготовки **05.01.01 Науки о Земле**. Направленность программы **Геотектоника и геодинамика**.
4. **Место дисциплины (модуля) в структуре ООП и тип дисциплины (модуля) по характеру ее освоения:** относится к вариативной части ООП, входит в перечень дисциплин по выбору для освоения в 3 семестре второго года обучения
5. Планируемые результаты обучения по дисциплине **Компьютерное моделирование в геодинамике**, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

| Формируемые компетенции (код компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине «Компьютерное моделирование в геодинамике» |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| УК-3 Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных | 31 (УК-3): знать особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских коллективах |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| задач. | |
| <i>УК-5(6)</i> Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития | 31(УК-5(6)): знать содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда. |
| <i>ОПК-1</i> Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий | 31 (ОПК-1) Знать основной круг проблем (задач), встречающихся в избранной сфере научной деятельности, и основные способы (методы, алгоритмы) их решения |
| <i>ПК1</i> Способность адаптировать и обобщать результаты современных геоморфологических исследований для целей преподавания геологических дисциплин в образовательных организациях высшего образования и научных исследований | 31(ПК-1): знать закономерности развития и взаимосвязи геологических, физических и химических процессов, протекающих в недрах Земли и на ее поверхности, и их взаимодействие с другими оболочками Земли 32(ПК-1) знать методы и технологии исследований по направленности обучения 33(ПК-1) знать особенности представления результатов экспериментальных исследований по направленности обучения |
| <i>ПК 2</i> владение современными методами научных исследований в области научной специальности, в том числе с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий | 31(ПК-2): знать физические основы современных методов научных исследований в области научной специальности 32(ПК-2): знать аппаратуру и методики исследований по направленности обучения |
| <i>ПК3</i> способность адаптировать и обобщать результаты современных геологических исследований для целей преподавания дисциплин в области наук о Земле и рационального природопользования в высших учебных заведениях | 31(ПК-3) знать современное состояние научных исследований и круг актуальных проблем в области научной специальности |
| <i>ПК-4</i> способность выдвигать и обосновывать новые гипотезы в области своей научной специальности | 31(ПК-4) знать общие закономерности развития науки и современное состояние исследований в области своей научной специальности |
| <i>ПК-5</i> способность обобщать и использовать результаты исследований для выявления новых явлений, закономерностей, законов и теоретических положений в области своей научной специальности | 31(ПК-5) знать законы и базовые теоретические положения в области своей научной специальности |
| <i>ПК-6</i> способность обобщать и использовать | 31(ПК-6) знать существующие пути решения актуальных практических задач в области |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| результаты научных исследований для решения практических задач хозяйственной деятельности | своей научной специальности и их недостатки |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине приведены в Приложении. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины Компьютерное моделирование в геодинамике составляет 6 зачетных единиц, всего 216 часов, из которых 54 часа составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (28 часов занятия лекционного типа, 14 часов занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия, лабораторные работы и т.п.), 2 часа групповые консультации, 10 часов индивидуальные консультации), 162 часа составляет самостоятельная работа аспиранта.

7. Входные требования для освоения дисциплины **Компьютерное моделирование в геодинамике**, предварительные условия:

Знать: приближения сплошной среды, которое позволяет применить хорошо разработанные физико-математический методы теории упругих деформаций, течения идеальной и вязкой жидкости, тепло- и массопереноса и т.п. в геодинамике; знать основные этапы моделирования; принципы построения моделей; основные численные методы.

Уметь: построить адекватную теоретическую модель; записать необходимые уравнения; сформулировать начальные и граничные условия; выбрать подходящий численный метод для решения задачи; оценить его погрешность; написать компьютерную программу, реализующую данный метод; осуществить самостоятельное компьютерное моделирование для решения геодинамических задач; исследовать влияние параметров на

полученные результаты; оценить область применения построенных моделей и их соответствие природным процессам.

Владеть навыками использования основных численных методов для решения геодинамических задач.

8. Образовательные технологии.

Обучение проходит в компьютерном классе кафедры динамической геологии, а также с привлечением ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ.

9. Содержание дисциплины **Компьютерное моделирование в геодинамике**, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий.

Краткая аннотация

Целью дисциплины **Компьютерное моделирование в геодинамике** является освоение базовых методов построения компьютерных моделей геодинамических процессов; обучение основным численным методам и практическим навыкам компьютерного моделирования. Применение компьютерного моделирования для решения геодинамических задач. Модели локальной и региональной изостазии, модели течения и связанные с ними модели осадконакопления, модели теплопереноса в геологических процессах. Реология материалов. Реология литосферы и мантии Земли. Применение реологических моделей литосферы и мантии в геодинамическом моделировании. Земля как тепловая машина. Модели мантийной конвекции, плюмов, субдукции. Силы, движущие плиты. Механизмы рифтогенеза и пострифтового погружения. Динамика орогенеза и образования предгорных прогибов. Модели внутриплатформенных деформаций литосферы. Модели, учитывающие роль фазовых превращений вещества (включая плавление). Геодинамика и магматизм.

В ходе освоения курса **Компьютерное моделирование в геодинамике** предусмотрены лабораторные работы, при выполнении которых студенты строят модели геодинамических процессов и исследуют особенности их динамики на компьютере.

| 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), часы из них | | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы из них | | | |
| | | Занятия лекционного | Занятия семинарского | Групповые консультации | Индивидуальные | Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости коллоквиумы, практические контрольные занятия и др)* | Всего | Выполнение домашних заданий | Подготовка рефератов и т.п. | Всего |
| Тема 1. | 15 | 3 | 1 | | 1 | | 5 | 5 | 5 | 10 |
| Тема 2. | 16 | 3 | 2 | | 1 | | 6 | 5 | 5 | 10 |
| Тема 3. | 16 | 3 | 2 | | 1 | | 6 | 5 | 5 | 10 |
| Тема 4. | 16 | 3 | 2 | | 1 | | 6 | 5 | 5 | 10 |
| Тема 5. | 16 | 3 | 2 | | 1 | | 6 | 5 | 5 | 10 |
| Тема 6. | 15 | 3 | 1 | | 1 | | 5 | 5 | 5 | 10 |
| Тема 7. | 15 | 3 | 1 | | 1 | | 5 | 5 | 5 | 10 |
| Тема 8. | 15 | 3 | 1 | | 1 | | 5 | 5 | 5 | 10 |
| Тема 9. | 14 | 2 | 1 | | 1 | | 4 | 5 | 5 | 10 |
| Тема 10. | 14 | 2 | 1 | | 1 | | 4 | 5 | 5 | 10 |
| Промежуточная | 64 | | | 2 | | | 2 | | | 62 |

| | | | | | | | | | | |
|--------------------|-----|----|----|---|----|--|----|----|----|-----|
| аттестация экзамен | | | | | | | | | | |
| Итого | 216 | 28 | 14 | 2 | 10 | | 54 | 50 | 50 | 162 |

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине Компьютерное моделирование в геодинамике. Самостоятельную работу аспиранта (соискателя) обеспечивают учебно-методические и иные библиотечно-информационные ресурсы и гарантируют возможность качественного освоения образовательной программы. Каждый аспирант обеспечивается основной учебной и учебно-методической литературой, методическими пособиями, необходимыми для организации образовательного процесса. Кафедра динамической геологии и геологический факультет располагает научными журналами и трудами научных конференций.

11. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы,
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»
- Перечень используемых информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса, включая программное обеспечение, информационные справочные системы (при необходимости):Пр
- Описание материально-технической базы.

а) основная литература:

1. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. В 2-х т. М.: Мир, 1985.
2. Харбух Д., Бонэм-Картер Г. Моделирование на ЭВМ в геологии. М.: Мир, 1974.
3. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М.: КДУ, 2005.
4. Надаи А. Пластичность и разрушение твердых тел. В 2-х т. М.: Мир, 1969.
5. Gerya T.V. Introduction to Numerical Geodynamic Modelling. Cambridge University Press. 2010. 345 p.

б) дополнительная литература:

1. Реология. Теория и приложения. Под ред. Ф.Эйриха. М.: Изд. иностр. лит., 1962. 824 с.
2. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. М.: "Наука", 1966.
3. Андерсон Д., Таннехилл Д., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В 2-х т. М.: Мир, 1990.
4. Schubert G., Turcotte D.L., Olson P. Mantle Convection in the Earth and Planets. Cambridge: Cambridge University Press. 2004. 940 p.
5. Ismail-Zadeh A., Tackley P.J. Computational Methods for Geodynamics. New York: Cambridge University Press. 2010. 313 p.

в) Интернет-ресурсы:

1. Образовательный математический сайт Exponenta.ru. <http://www.Exponenta.ru>.
2. Коды учебных программ к учебнику (Gerya, 2010) <http://www.cambridge.org/ch/academic/subjects/earth-and-environmental-science/structural-geology-tectonics-and-geodynamics/introduction-numerical-geodynamic-modelling?format=HB>
3. Computational Infrastructure for Geodynamics (CIG) <https://geodynamics.org/cig/>
4. Introduction to numerical methods for geologists, mathematicians and physicists <http://numericalmethods.wordpress.com/>

12. Язык преподавания. **Русский**

13. Преподаватель (преподаватели). Д. г.-м. н., профессор **Захаров Владимир Сергеевич (zakharov@dynamo.geol.ru)**

Приложение

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Компьютерное моделирование в геодинاميке» на основе карт компетенций выпускников

| РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) | КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) <i>(критерии и показатели берутся из соответствующих карт компетенций, при этом пользуются только балльно-рейтинговой системой оценивания)</i> | | | | | ВИДЫ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 31 (УК-3): знать особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме при работе в российских и международных исследовательских коллективах | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Неполные знания | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания | Сформированные и систематические знания | индивидуальное устное собеседование |
| 31(УК-5(6)): знать содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда. | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Неполные знания | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания | Сформированные и систематические знания | индивидуальное устное собеседование |
| 31 (ОПК-1) Знать основной круг проблем (задач), | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Неполные знания | Сформированные, но содержащие | Сформированные и систематические знания | письменная работа (реферат), |

| | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| встречающихся в избранной сфере научной деятельности, и основные способы (методы, алгоритмы) их решения | | | | отдельные пробелы знания | | индивидуальное устное собеседование |
| 32 (ОПК-1) Знать основные источники и методы поиска научной информации | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Неполные знания | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания | Сформированные и систематические знания | письменная работа (реферат), индивидуальное устное собеседование |
| 31(ПК-1): знать закономерности развития и взаимосвязи геологических, физических и химических процессов, протекающих в недрах Земли и на ее поверхности, и их взаимодействие с другими оболочками Земли | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания закономерностей развития и взаимосвязи геологических, физических и химических процессов, протекающих в недрах Земли и на ее поверхности, и их взаимодействие с другими оболочками Земли | Неполные знания закономерностей развития и взаимосвязи геологических, физических и химических процессов, протекающих в недрах Земли и на ее поверхности, и их взаимодействие с другими оболочками Земли | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания закономерностей развития и взаимосвязи геологических, физических и химических процессов, протекающих в недрах Земли и на ее поверхности, и их взаимодействие с другими оболочками Земли | Сформированные и систематические знания развития и взаимосвязи геологических, физических и химических процессов, протекающих в недрах Земли и на ее поверхности, и их взаимодействие с другими оболочками Земли | письменная работа (реферат), индивидуальное устное собеседование |
| 32(ПК-1) знать методы и технологии исследований по направленности обучения | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания методов и технологий исследований по направленности обучения | Неполные знания методов и технологий исследований по направленности обучения | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания методов и технологий исследований по направленности обучения | Сформированные и систематические знания методов и технологий исследований по направленности обучения | письменная работа (реферат), индивидуальное устное собеседование |

| | | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 33(ПК-1) знать особенности представления результатов экспериментальных исследований по направленности обучения | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания особенностей представления результатов экспериментальных исследований по направленности обучения | Неполные знания особенностей представления результатов экспериментальных исследований по направленности обучения | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания особенностей представления результатов экспериментальных исследований по направленности обучения | Сформированные систематические знания особенностей представления результатов экспериментальных исследований по направленности обучения | письменная работа (реферат), индивидуальное устное собеседование |
| 31(ПК-2): знать физические основы современных методов научных исследований в области научной специальности | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания физических основы современных методов научных исследований в области научной специальности | Неполные знания физических основ современных методов научных исследований в области научной специальности | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания физических основ современных методов научных исследований в области научной специальности | Сформированные и систематические знания физических основ современных методов научных исследований в области научной специальности | письменная работа (реферат), индивидуальное устное собеседование |
| 32(ПК-2): знать аппаратуру и методики исследований по направленности обучения | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания аппаратуры и методик исследований по направленности обучения | Неполные знания аппаратуры и методик исследований по направленности обучения | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания аппаратуры и методик исследований по направленности обучения | Сформированные и систематические знания аппаратуры и методик исследований по направленности обучения | письменная работа (реферат), индивидуальное устное собеседование |
| 31(ПК-3) знать современное состояние научных исследований и круг актуальных проблем в области научной специальности | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания современного состояния научных исследований и круга | Неполные знания современного состояния научных исследований и круга актуальных проблем в | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания современного состояния научных исследований и круга актуальных проблем | Сформированные и систематические знания современного состояния научных исследований и круга актуальных проблем в области научной специальности | письменная работа (реферат), индивидуальное устное собеседование |

| | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| | | актуальных проблем в области научной специальности | области научной специальности | в области научной специальности | | |
| 31(ПК-4) знать общие закономерности развития науки и современное состояние исследований в области своей научной специальности | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания общих закономерностей развития науки и современное состояние исследований в области своей научной специальности | Неполные знания общих закономерностей развития науки и современное состояние исследований в области своей научной специальности; | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания общих закономерностей развития науки и современное состояние исследований в области своей научной специальности | Сформированные и систематические знания общих закономерностей развития науки и современное состояние исследований в области своей научной специальности | письменная работа (реферат), индивидуальное устное собеседование |
| 31(ПК-5) знать законы и базовые теоретические положения в области своей научной специальности | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания законов и базовых теоретических положений в области своей научной специальности | Неполные знания законов и базовых теоретических положений в области своей научной специальности | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания законов и базовых теоретических положений в области своей научной специальности | Сформированные и систематические знания законов и базовых теоретических положений в области своей научной специальности | письменная работа (реферат), индивидуальное устное собеседование |
| 31(ПК-6) знать существующие пути решения актуальных практических задач в области своей научной специальности и их недостатки | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания существующих путей решения актуальных практических задач в области своей научной специальности и их недостатков | Неполные знания существующих путей решения актуальных практических задач в области своей научной специальности и их недостатков | Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания существующих путей решения актуальных практических задач в области своей научной специальности и их | Сформированные и систематические знания существующих путей решения актуальных практических задач в области своей научной специальности и их недостатков | письменная работа (реферат), индивидуальное устное собеседование |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|-------------|--|--|
| | | | | недостатков | | |
|--|--|--|--|-------------|--|--|

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «**Компьютерное моделирование в геодинамике**» - индивидуальное устное собеседование.

Максимальное количество баллов 100. Оценка «отлично» - выше 80 баллов; «хорошо» - 60-80 баллов; «удовлетворительно» - 45-60 баллов; «неудовлетворительно» - ниже 45 баллов.

Критерии оценки индивидуального устного собеседования:

1. Полнота и глубина изложенного материала (0-50 баллов)
2. Знание основных методов и теорий области изучаемой дисциплины (0-20 баллов)
3. Владение терминологией в области своей научной специальности (0-10 балла)
4. Умение сформулировать собственную точку зрения по вопросу (0-10 балла)
5. Логичное изложение материала, культура речи (0-10 балла)

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

1. Описать приближение сплошной среды для геологической среды.
2. Провести описание деформаций и напряжений
3. Провести описание приближение вязкой среды.
4. Дать описание основных реологических соотношений.
5. Привести основные уравнения движения сплошной среды, дать анализ их применимости
6. Провести дискретизацию уравнений движения
7. Описать основные способы теплопередачи, основные уравнения.
8. Провести дискретизацию уравнения теплопереноса
9. Проанализировать уравнение адвекции и методы его дискретизации
10. Дать анализ алгоритма термомеханического моделирования в геодинамике

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения
Календарно-тематический план
Контактные аудиторные часы
Список тем

| Тема | Тема для изучения | Форма проведения занятий | Кол-во часов |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------|
| Тема 1. | Введение. Необходимость численного моделирования в геодинамике. Обзор истории численного моделирования в геодинамике. Необходимость использования аппарата дифференциальных уравнений и численных методов для геодинамического моделирования. Обзор стандартных программных средств для моделирования. Представление результатов моделирования. | лекция | 3 |
| Тема 2. | Приближение сплошной среды для геологической среды Скалярные и векторные поля для представления сплошной среды. Уравнение непрерывности. Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости, его применение для геодинамического моделирования | лекция | 3 |
| Тема 3. | Деформации и напряжения. Понятие напряжений и деформаций. Тензор напряжений и деформаций. Девиатор тензора напряжений и деформаций. Литостатическое и тектоническое напряжение. Главные оси и главные напряжения. Преобразования тензора напряжений. Инварианты тензоров напряжений и деформаций. | лекция | 3 |
| Тема 4. | Приближение вязкой среды. Вязкость. Линейно-вязкая среда. Уравнение Навье-Стокса для описания движений вязкой жидкости. Течение очень вязкой несжимаемой жидкости, его применение в вычислительной геодинамике | лекция | 3 |
| Тема 5. | Реология. Реологические модели. Линейные и нелинейные реологические законы. Реология литосферы и мантии. Эффективная вязкость, ее зависимость от температуры, скорости деформации и давления | лекция | 3 |
| Тема 6. | Дискретизация уравнений движения. Дискретизация уравнения Стокса. Консервативные и неконсервативные схемы дискретизации. Граничные условия, их виды и представление в дискретном виде. | лекция | 3 |

| | | | |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|----|
| Тема 7. | Теплопередача. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности, его геодинимические применения. Радиогенная, адиабатическая, вязкая теплогенерация, их вклад в тепловой баланс. | лекция | 3 |
| Тема 8. | Дискретизация уравнения теплопереноса. Представление уравнения теплопроводности в конечных разностях. Консервативные и неконсервативные схемы. Явные и неявные схемы численного решения. Граничные условия (постоянная температура, постоянный тепловой поток, комбинированные), их численное представление. | лекция | 3 |
| Тема 9. | Уравнение адвекции. Методы решения. Метод маркеров в ячейках для решения уравнения адвекции. Схема Рунге-Кутты. Численная интерполяция значений между маркерами и узлами. | лекция | 2 |
| Тема 10. | Алгоритм термомеханического моделирования. Общий алгоритм термомеханического моделирования а геодинимике. | лекция | 2 |
| | | итого | 28 |

| Тема | Тема для изучения | Форма проведения занятий | Кол-во часов |
|----------|----------------------------------------------------|--------------------------|--------------|
| Тема 1. | Представление результатов моделирования | семинар | 1 |
| Тема 2. | Приближение сплошной среды для геологической среды | семинар | 2 |
| Тема 3. | Деформации и напряжения. | семинар | 2 |
| Тема 4. | Приближение вязкой среды | семинар | 2 |
| Тема 5. | Реология | семинар | 2 |
| Тема 6. | Дискретизация уравнений движения | семинар | 1 |
| Тема 7. | Теплопередача | семинар | 1 |
| Тема 8. | Дискретизация уравнения теплопереноса | семинар | 1 |
| Тема 9. | Уравнение адвекции | семинар | 1 |
| Тема 10. | Алгоритм термомеханического моделирования | | 1 |
| | | итого | 14 |

Самостоятельная работа

| Тема | Тема для изучения | Форма выполнения | Кол-во часов |
|----------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------|
| Тема 1. | Численное моделирование в геодинамике | Реализованная модель по теме занятия. Реферат. | 10 |
| Тема 2. | Приближение сплошной среды для геологической среды | Реализованная модель по теме занятия. Реферат. | 10 |
| Тема 3. | Деформации и напряжения. | Реализованная модель по теме занятия. Реферат. | 10 |
| Тема 4. | Приближение вязкой среды | Реализованная модель по теме занятия. Реферат. | 10 |
| Тема 5. | Реология | Реализованная модель по теме занятия. Реферат. | 10 |
| Тема 6. | Дискретизация уравнений движения | Реализованная модель по теме занятия. Реферат. | 10 |
| Тема 7. | Теплопередача | Реализованная модель по теме занятия. Реферат. | 10 |
| Тема 8. | Дискретизация уравнения теплопереноса | Реализованная модель по теме занятия. Реферат. | 10 |
| Тема 9. | Уравнение адвекции | Реализованная модель по теме занятия. Реферат. | 10 |
| Тема 10. | Алгоритм термомеханического моделирования | Реферат. | 10 |
| | | итого | 100 |