

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**

### **Основы механики сплошной среды для геологических исследований**

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:** овладеть современными методами описания механических свойств материалов в геологических исследованиях.

**Задачи:** познакомить студентов с основными современными методами и результатами исследований в области механики сплошной среды для геологических исследований.

### Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Курс направлен на изучение проблем, касающихся механических процессов в недрах Земли. Он включает в себя части классической теории упругости с приложением к теории волн, реологии и основ теории разрушения материалов. Курс дает возможность студентам овладеть современными методами описания механических свойств материалов, техникой решения динамических задач механики упруго-вязких сред, получить представления о физике разрушения гетерогенных материалов.

**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», «Общая геология», «Геотектоника», «Физика Земли».

**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
(СПК-3.М (1)) Способен решать типичные задачи в области механики сплошной среды для геологических исследований в различных геодинамических обстановках	М.СПК-3 (1). И-1 Использует и применяет знания в области геотектоники, геодинамики и механики сплошной среды при описании механического поведения материалов в разных геодинамических обстановках	<b>Знать:</b> основные современные методы и результаты исследований в области механики сплошной среды для геологических исследований. <b>Уметь:</b> решать типичные задачи в области механики сплошной среды для геологических исследований. <b>Владеть</b> базовыми навыками научного исследования в механике сплошной среды для решения геологических задач

**4. Объем дисциплины (модуля)** составляет 3 з.е., в том числе 42 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (28 часов лекции и 14 часов семинары), 66 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. Деформации сплошной среды.	15	3		2	6				8	9
Раздел 2. Механические напряжения .	15	4		2	6				8	9
Раздел 3. Упругость.	15	4		2	6				8	9
Раздел 4. Элементарные реологические тела	15	4		2	6				8	9
Раздел 5. Линейные реологические тела	17	6		2	8				8	9
Раздел 6. Природа вязкости твердых тел	13	2		2	4				8	9
Раздел 7. Элементы физики разрушения и теории прочности материалов	15	4		2	6				8	9
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	3					3				
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>42</b>				<b>66</b>				

## Содержание лекций, семинаров

### Содержание лекций

**Раздел 1. Введение. Деформации сплошной среды.** Принципы и методы механики сплошной среды. Механика сплошной среды в науках о Земле. Понятие деформации и принцип ее математического описания. Конечные и малые деформации. Понятие тензора деформаций. Свойства тензора деформаций. Геометрический смысл компонент тензора деформаций и тензора поворотов, деформация в заданном направлении. Главные направления, главные значения, инварианты тензора деформаций и их геометрическое содержание. Поворот системы координат для приведения тензора деформаций к главным осям.

**Раздел 2. Механические напряжения.** Физическая природа сил, отвечающих за внутренние напряжения в сплошной среде, принцип Коши, размер "физической" точки и поверхностные силы, вектор и тензор напряжений. Физический смысл компонент тензора напряжений, симметричность тензора напряжений, нормальные и касательные напряжения. Уравнение равновесия сплошной среды, условия на поверхности и на границах внутри среды. Главные направления, главные значения, инварианты тензора напряжений и их физический смысл. Экстремальные нормальные и касательные напряжения.

**Раздел 3. Упругость.** Упругость как физическое свойство и возможности ее математического описания. Обобщенный закон Гука как обобщение эмпирических данных. Упругость и обратимость деформирования, упругость и закон Гука. Закон Гука для однородной изотропной среды. Упругие модули и соотношения между ними. Уравнения движения однородной упругой среды, граничные и начальные условия. Упругие волны, типы волн, скорости упругих волн.

**Раздел 4. Элементарные реологические тела.** Смысл и место определяющих соотношений между компонентами тензора напряжений и деформации в механике сплошной среды, способы их получения. Упругость, модель упругого тела (тело Гука) и его свойства. Вязкость, модель вязкого тела (тело Ньютона): определяющие соотношения. Уравнение движения в среде Гука и Ньютона, диссипация энергии. Понятие о пластичности, идеальные пластичные тела.

**Раздел 5. Линейные реологические тела.** Упруго-вязкие тела Кельвина-Фойгта, Максвелла, Пойнтинга-Томсона. Их свойства, особенности поведения при разном характерном времени воздействия («быстрое» и «медленное» по сравнению с характерным временем для каждой модели). Сопоставление с реологическим поведением реальной геологической среды. Обобщенные линейные тела как механические модели вещества Земли. Понятие о ползучести, тело Ломница. Преимущества и ограниченность линейного подхода.

**Раздел 6. Природа вязкости твердых тел.** Природа упругих и неупругих свойств твердых тел. Механизмы вязкости твердых тел: диффузионная и дислокационная ползучесть, вязкость по границам зерен. Законы для описания разных видов ползучести параметры, зависимость от вещества, температуры и давления. Постледниковое поднятие как пример релаксации неровности поверхности вязкой жидкости. Эмпирическая оценка вязкости астеносферы на основании динамики последникового поднятия. Реологическая модель вещества Земли, оценка параметров разных оболочек.

**Раздел 7. Элементы физики разрушения и теории прочности материалов.** Критерии прочности как подход к проблеме разрушения. Критерий максимальных касательных напряжений, критерий Мора-Кулона. Аналитический и графический подход для критерия Мора-Кулона. Теория разломообразования по Андерсену. Прочность идеальных и реальных тел, роль трещин. Напряжения вблизи вершин плоских трещин. Критерий разрушения Гриффитса. Физическое объяснение наличия пределов прочности, их зависимость от температуры и скорости нагружения.

## **План проведения семинарских занятий:**

1. Деформации сплошной среды.
2. Механические напряжения.
3. Упругость.
4. Элементарные реологические тела
5. Линейные реологические тела
6. Природа вязкости твердых тел
7. Элементы физики разрушения и теории прочности материалов.

## **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. Тензор деформаций, его свойства
2. Тензор напряжений, его свойства
3. Максимальные нормальные и касательные напряжения.
4. Соотношение упругих модулей.
5. Зависимость скорости объемных волн от параметров среды.
6. Механизмы вязкости твердых тел.
7. Оценка вязкости астеносферы по постледниковому поднятию.
8. Характер зависимости напряжений и деформаций от времени для линейных реологических тел.
9. Критерий Мора-Кулона.
10. Элементарные реологические тела.

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

#### ***Примерный перечень вопросов при промежуточной очной аттестации (экзамене):***

1. Деформация сплошной среды.
2. Напряжения в сплошной среде.
3. Экстремальные нормальные и касательные напряжения.
4. Упругость. Обобщенный закон Гука.
5. Закон Гука в однородной изотропной среде.
6. Упругие модули.
7. Уравнения движения сплошной среды.
8. Объемные упругие волны в изотропной среде, их свойства.
9. Поверхностные упругие волны.
10. Упругие волны в анизотропной среде.
11. Вязкость. Оценка вязкости астеносферы.
12. Элементарные реологические тела: Гука, Ньютона, Прандтля.
13. Тело Максвелла.
14. Тело Кельвина-Фойгта.
15. Стандартное линейное тело. Обобщенные линейные тела.
16. Ползучесть. Тело Ломница.
17. Приливное трение.
18. Природа вязкости кристаллических тел.
19. Вязкость по границам зерен.
20. Феноменология разрушения. Предел прочности, критерии прочности.

21. Механика трещин. Критерии прочности Гриффитса и Ирвина.

22. Теория разломообразования по Андерсону.

### Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Результаты Обучения (соответствующие евиды оценивающих средств)	«Неудовлетво- рительно»	«Удовлетво- рительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания ( <i>устный опрос</i> ): основных методов в области механики сплошной среды для геологических исследований.	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структуриро- ванные знания	Систематичес- кие знания
Умения ( <i>устный опрос</i> ): решать типичные задачи в области механики сплошной среды для геологических исследований.	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическо е умение, допускает неточности непринципаль ного характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение решать типичные задачи в области механики.	Успешное умение решать типичные задачи в области механики сплошной среды для геологических исследований
Владения ( <i>устный опрос</i> ): базовыми навыками исследования в механике сплошной среды для решения геологических задач.	Навыки исследования в механике сплошной среды отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформирован- ные навыки исследования в механике сплошной среды.	Владение базовыми навыками исследования в механике сплошной среды для решения геологических задач.

### 8. Ресурсное обеспечение:

#### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

##### - основная литература:

1. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Теоретическая физика: В 10 т.: Т.7. Теория упругости: Учеб.пособие для студентов физ.специальностей ун-тов М.: Физматлит, 2003. 259 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
2. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология. М.: Мир, 1983. 880 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
3. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 2006. 389 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).
4. Жарков В. Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука и образование, 2013. 413 с. (печатная в Библиотеке МГУ, электронная в кафедральном фонде).

5. Реология. Теория и приложения / ред. Эйрих Ф.Р. М.: Изд. Иностранной литературы, 1962 г. 824 с. (электронная в кафедральном фонде).

**- дополнительная литература:**

1. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука. Т.1, 1983. Т.2, 1984.
2. Прагер В. Введение в механику сплошных сред. М., 1983.
3. Саваренский Е.Ф. Сейсмические волны. М.: Недра, 1972.
4. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. В 2-х т. М.: Мир, 1985. 720 с/
5. Karato S. Deformation of Earth materials. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 2008. 474 p.

**Б) Перечень программного обеспечения:**

- лицензионное

нет

- нелицензионное и свободного доступа

пакет программ Open Office

**В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

- реферативная база данных издательства Elsevier: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

- Алешкевич В.А, Деденко Л.Г., Караваев В.А. Механика сплошных сред. Лекции. <http://www.astronet.ru/db/msg/1173645>.

**Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»**

- поисковая система научной информации [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

- электронная база научных публикаций [www.webofscience.com](http://www.webofscience.com)

**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., Смирнов В.Б. (зав. кафедрой физики Земли, физический факультет МГУ)

**11. Разработчики программы:** профессор Смирнов В.Б., профессор Захаров В.С.