

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**

### **Экспериментальная тектонофизика**

Автор-составитель: Фролова Н.С.

**Уровень высшего образования:**  
*Магистратура*

**Направление подготовки:**  
**05.04.01 Геология**

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
**Геология и полезные ископаемые (ММ)**

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 магистратуры*).

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** – изучить богатые возможности физического моделирования для решения разнообразных теоретических и практических геологических задач.

**Задачи:** (а) выработка представлений о значении, задачах и принципах физического (аналогового) моделирования; (б) знакомство с примерами моделирования геодинамических структур разных рангов; (в) выработка навыков самостоятельного моделирования структурных парагенезов разных рангов, формирующихся в той или иной геодинамической обстановке.

### Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Изучение дисциплины предусматривает выработку представлений о значении, задачах и принципах физического (аналогового) моделирования; изучение и анализ удачных примеров моделирования структур разных рангов, формирование навыков самостоятельного моделирования структурных парагенезов, характерных для той или иной геодинамической обстановки. В конечном итоге у магистров должно сложиться цельное представление о механизме формирования разномасштабного спектра тектонических структур от асимметрии Земли до мелких складок, а также возможностях и методах их моделирования.

**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 «Информатика», «Физика», «Геологические процессы».

**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
<b>ОПК-3.ММ (1)</b> Способен в процессе решения профессиональных задач самостоятельно получать, интерпретировать и обобщать результаты, разрабатывать рекомендации по их практическому использованию (формируется частично)	<b>ММ.ОПК-3. И-1.</b> Владеет навыками самостоятельного получения результатов при решении задач профессиональной деятельности. <b>ММ.ОПК-3. И-2.</b> Объективно оценивает полученные результаты, обобщает их, формулирует выводы. <b>ММ.ОПК-3. И-3.</b> Использует полученные результаты для	<b>Знать:</b> особенности механизма тектонических деформаций; принципы и методы экспериментальной тектоники; особенности физического моделирования тектонических структур разного ранга; современные достижения по моделированию структур разного происхождения. <b>Уметь:</b> соблюдать условия геометрического и физического подобия при аналоговом моделировании тектонических деформаций; создавать модели природных объектов для их экспериментального воспроизведения; соблюдать принципы аналогового моделирования, подбирать эквивалентные материалы для моделирования тектонических структур разного происхождения; моделировать структуры разных рангов, формирующиеся в разных

	<p>выработки рекомендаций по их практическому использованию.</p>	<p>деформационных обстановках.  <b>Владеть:</b> навыками конструирования простейших приборов для аналогового моделирования, изготовления моделей из разных материалов, документации экспериментов, анализа результатов экспериментов.</p>
--	--	---

**4. Объем дисциплины (модуля)** составляет **2** з.е., в том числе **26** академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (13 часов практические занятия и 13 часов семинары), **46** 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 <small>по теме</small> )	Подготовка реферата	Подготовка к контрольному опросу	Всего
Раздел 1. Моделирование в тектонике; задачи и принципы аналогового физического моделирования	<b>11</b>		2	2	<b>4</b>	4			3	<b>7</b>
Раздел 2. Условия подобия в аналоговом физическом моделировании	<b>11</b>		2	2	<b>4</b>	4			3	<b>7</b>
Раздел 3. Моделирование структурных парагенезов обстановки сочетания горизонтального сжатия с горизонтальным сдвигом в горизонтальной плоскости	<b>12</b>		2	2	<b>4</b>	4			4	<b>8</b>
Раздел 4. Моделирование структурных парагенезов обстановки простого сдвига	<b>12</b>		2	2	<b>4</b>	4			4	<b>8</b>
Раздел 5. Моделирование структурных парагенезов обстановок трансенсии и транспрессии	<b>12</b>		2	2	<b>4</b>	4			4	<b>8</b>
Раздел 6. Моделирование структурных парагенезов обстановки горизонтального растяжения	<b>12</b>		2	2	<b>4</b>	4			4	<b>8</b>
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>	<b>2</b>	<b>2</b>								
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>26</b>				<b>46</b>				

## **Содержание семинаров и практических занятий.**

**Раздел 1. Моделирование в тектонике; задачи и принципы аналогового физического моделирования.** Характеристика объектов в тектонике. Отличие эксперимента в геологии от эксперимента в других науках. Иллюстративное и познавательное значение эксперимента в тектонике. Разное значение положительного и отрицательного результата эксперимента в тектонике. Цели тектонофизического моделирования. Типы физического моделирования. Решение прямых и обратных задач методом тектонофизического моделирования. Основные принципы тектонофизического моделирования по М.В. Гзовскому. Принцип подобия моделей природным объектам. Польза моделирования.

**Раздел 2. Условия подобия в аналоговом физическом моделировании.** Методы аналогового физического моделирования. Лабораторные приборы и их природные аналоги. Принципы подбора или создания эквивалентного вещества. Способы регистрации и обработки результатов экспериментов (в том числе современные). Принципиальные трудности тектонофизического моделирования. Эксперименты по воспроизведению структурных парагенезов разного ранга, формирующихся в разных геодинамических (механических) обстановках.

**Раздел 3. Моделирование структурных парагенезов обстановки горизонтального сжатия и сочетания горизонтального сжатия с горизонтальным сдвигом в горизонтальной плоскости.** Моделирование отдельных складок и их серий. Первые эксперименты. Модельный материал, условия нагружения, результаты.

Эксперименты по воспроизведению участков складчатых сооружений. Условия проведения экспериментов в зависимости от господствующих гипотез. Результаты экспериментов.

Эксперименты по воспроизведению складчатых структур, обусловленных пассивной ролью силы тяжести. Эксперименты по воспроизведению структур, формирование которых обусловлено активной ролью силы тяжести. Моделирование локальной инверсии плотности, история и примеры такого моделирования. Моделирование региональной инверсии плотности.

Эксперименты по воспроизведению складчато-надвиговых областей (Fold-thrust-belts). Примеры. Анализ граничных условий и сравнение с природой.

Типы экспериментов по моделированию покровно-складчатых сооружений (в том числе аккреционных призм). Способы воздействия на образец и граничные условия.

Эксперименты по воспроизведению покровно-складчатых сооружений, образовавшихся в результате простой субдукции или конвергенции. Примеры способов воздействия на образец и граничных условий.

**Раздел 4. Моделирование структурных парагенезов обстановки простого сдвига.**

Типы сдвигов по характеру напряженного состояния. История моделирования сдвигов. Модели однородного простого сдвига. Приборы, эквивалентные материалы. Характерные структуры, их развитие и ориентировка. Модели неоднородного по латерали и глубине простого сдвига (зона сдвига Риделя). Приборы. Структурный парагенез, полученный в моделях с разными эквивалентными материалами, характерный для этого типа сдвига. Стадии развития разломной сдвиговой зоны Риделя в моделях. Различие структурного парагенеза в моделях из песка и глины. Модели сдвиговых зон Риделя с различными осложнениями (внесение неоднородностей, осадконакопление, денудация и т.п.). Модели с несколькими сдвиговыми разломами: параллельными, непараллельными, извилистыми, пересекающимися. Приборы, созданные для этих ситуаций. Параметр, который мы не можем учесть при моделировании простого сдвига. Недостатки и преимущества физического и математического моделирования простого сдвига

**Раздел 5. Моделирование структурных парагенезов обстановок трансенсии и транспрессии.** Характеристика обстановок транспрессии и трансенсии. Два способа моделирования таких зон: (а) с предварительной деформацией подложки, на которой лежит модельный материал (квазиоднородное напряженное состояние). (б)

моделирование с использованием ступенчатой конфигурации смещаемых пластин фундамента (неоднородное напряженное состояние). Приборы, эквивалентные вещества, примеры моделей. Особенности структурного парагенеза, полученного в моделях, сравнение с природными структурами.

**Раздел 6. Моделирование структурных парагенезов обстановки горизонтального растяжения.** Характеристика обстановки горизонтального растяжения. Эксперименты с однородным по площади модели растяжением. Формирование сбросов, их ориентировка в плане и разрезе. Эксперименты с растяжением в узкой зоне (грабены, рифты) Несколько типов таких экспериментов. Моделирование косоугольного рифтинга. Моделирование растяжения в масштабе литосферы с помощью центрифуги. Моделирование инверсии (растяжение с последующим сжатием). Эксперименты по воспроизведению обстановки растяжения над растущими поднятиями. Структурные парагенезы, формирующиеся в обстановках растяжения разного типа и сравнение с природой.

## **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, при защите рефератов, при контрольных опросах

#### *Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля:*

1. Назовите два подхода к тектонофизическому моделированию.
2. Какие типы экспериментов в тектонике вы знаете?
3. Что такое аналоговый эксперимент?
4. Что такое поляризационно-оптическое моделирование?
5. Какие из 5 принципов тектонофизического моделирования по Гзовскому реально выполнить, а какие затруднительно?
6. Каково время формирования природных деформационных структур?
7. Какова вязкость горных пород и как ее можно оценить?
8. Вязкость пород и вязкость деформируемых толщ – это одно и то же или нет?
9. Как оценить предел прочности горных пород при длительных деформациях?
10. Что мы знаем о величинах тектонических напряжений в земной коре?
11. Какой закон используется для вывода об автоматическом соблюдении условий подобия в некоторых типах экспериментов?
12. Какие параметры нужно учитывать для соблюдения условий подобия при моделировании хрупких деформаций?
13. В чем, по-вашему, состоит польза аналогового моделирования?
14. Что такое поверхностные и объемные силы, вызывающие деформации?
15. Назовите три возможных способа воздействия со стороны лабораторного прибора на эквивалентный материал.
16. Перечислите приборы для механически активного воздействия на образцы, для механически пассивного воздействия и приборы для немеханического воздействия.
17. Что кладется в основу выбора эквивалентного материала?
18. Перечислите эквивалентные материалы, используемые в настоящее время.
19. Перечислите современные способы регистрации и обработки результатов экспериментов.
20. В каких условиях можно использовать метод цифровой трассерной визуализации?
21. Какие материалы использовали в первых экспериментах по воспроизводству складчатых структур?
22. Какими экспериментами по моделированию участков складчатых сооружений пытались подтвердить контракционную гипотезу?

23. Какими экспериментами пытались подтвердить гипотезу гравитационного сползания слоистых толщ со склонов тектонических поднятий?
24. В каких экспериментах по воспроизведению так называемой гравитационной складчатости структура больше всего похожа на природную?
25. Как моделируют диапировые структуры?
26. Какие структуры могут сформироваться в эксперименте при инверсии плотности, вызванной горизонтально-однородным тепловым импульсом? А горизонтально-неоднородным?
27. Основные черты складчато-покровных областей (fold-thrust belts), которые нужно учитывать при их физическом моделировании.
28. Какие материалы используют для моделирования аккреционных призм?
29. Каковы граничные условия при моделировании аккреционных призм?
30. Назовите два варианта субдукционной модели формирования аккреционной призмы.
31. Чем морфологически отличаются модели, полученные в субдукционной модели и в модели индентора?
32. Какова роль базального трения в формировании структуры аккреционной призмы?
33. Какими эквивалентными материалами могут имитироваться различные слои (от мантии до верхней коры) при моделировании континентальной коллизии?
34. Моделирование складчатого сооружения целиком. Приведите три типа экспериментов.
35. Какая структура образуется при растяжении на резиновой ленте? Приведите примеры экспериментов.
36. Приведите примеры моделирования областей растяжения с поверхностью срыва.
37. Какие существуют способы моделирования грабенов?
38. Чем структура грабенов в моделях из песка отличается от таковой в моделях из влажной глины?
39. Приведите хотя бы два эксперимента по моделированию структуры над растущим поднятием.
40. Нарисуйте самые распространенные в настоящее время приборы для моделирования обстановки растяжения.
41. Какие структуры формируются в эксперименте с маловязким базальным слоем в основании (обстановка растяжения)?
42. Каковы основные черты инверсионных структур в моделях?
43. Опишите структурный парагенез в моделях косоугольного рифтинга.
44. Как получить объемное изображение цветковых структур в моделях?
45. Два типа валлообразных поднятий в зонах сдвига, полученные в экспериментах.
46. Как выглядят цветковые структуры в моделях транспрессии и трансенсии?
47. Как получить структуры pull-apart в моделях?
48. Как получить структуры pop-up в моделях?
49. Какие материалы использовались для моделирования соляных куполов и диапиров в условиях инверсии плотности без применения центрифуги?
50. Приведите примеры современных экспериментов по моделированию соляных куполов и диапиров в условиях инверсии плотности без применения центрифуги? Какие материалы использовались?
51. Приведите примеры диапировых структур, полученных в условиях инверсии плотности с применением центрифуги.
52. Каким образом удалось получить тепловую конвекцию двух рангов в моделях?

***Расчетно-экспериментальные задания:***

1. Подготовка, проведение, описание и анализ эксперимента по воспроизведению аккреционной призмы (субдукционный тип). Выполнение презентации.



2. Подготовка, проведение, описание и анализ эксперимента по воспроизведению простого сдвига (зоны сдвига Риделя). Выполнение презентации.
3. Подготовка, проведение, описание и анализ эксперимента по воспроизведению рифтовой зоны. Выполнение презентации.

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

*Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (зачет):*

1. Зависимость деформационных свойств геологических тел от их ранга и размера.
2. Условия возникновения конвекции и ее осуществления в форме валиков и в форме куполов.
3. Назвать какие-либо три процесса, механизм которых несовместим с концепцией тектоники литосферных плит. Показать возможность трактовки этого механизма как результата интерференции геодинамических систем разного ранга
4. Что такое механизмы тектогенеза. Фундаментальное и прикладное значение их исследований. Методы исследования механизмов тектогенеза. Эффективность этих методов.
5. Эксперимент в тектонике. Его особенности. Важность эксперимента в тектонике
6. Виды (типы) экспериментов.
7. Цели тектонофизического моделирования.
8. Решение прямых и обратных задач методом тектонофизического моделирования. Проблема неоднозначности решения обратных задач методом моделирования.
9. Пять принципов тектонофизического моделирования, сформулированные М.В. Гзовским.
10. Специфика тектонических деформаций в природе.
11. Виды подобия. Формула подобия Гзовского. Параметры, входящие в эту формулу. Их оценка.
12. Автоматическое выполнение условий подобия в некоторых видах экспериментов.
13. Эквивалентные материалы. Определение, виды.
14. Методы регистрации результатов экспериментов
15. Типы приборов, применяемых при физическом аналоговом моделировании
16. Типы сдвигов по характеру начального напряженного состояния.
17. Модель неоднородного по латерали и глубине простого сдвига (зона сдвига Риделя). Условия нагружения. Структурный парагенез, характерный для этого типа сдвига. Структурный парагенез, полученный в собственных экспериментах.
18. Развитие сколов Риделя во времени и пространстве при неоднородном сдвиге (зона сдвига Риделя). Их ориентировка на поверхности и в объеме (в том числе на примере собственных экспериментов).
19. Условия формирования трещин отрыва в зонах сдвига (в том числе на примере собственных экспериментов).
20. 4 стадии формирования разломной зоны (зона сдвига Риделя). Структурный парагенез каждой стадии (в том числе на примере собственных экспериментов).
21. Область активного динамического влияния разлома в случае неоднородного простого сдвига. Ее развитие (в том числе на примере собственных экспериментов).
22. Отличие структурных парагенезов однородного и неоднородного простого сдвига в экспериментах.
23. Геометрия опережающих разрывов на глубине. Геликоидальная форма сколов Риделя. Цветковые структуры зон сдвига (по литературным данным и на примере собственных экспериментов).
24. Особенности структурного парагенеза, возникающего в обстановке трансенсии. (по литературным данным и на примере собственных экспериментов).
25. Особенности структурного парагенеза, возникающего в обстановке транспрессии. (по литературным данным и на примере собственных экспериментов).

26. Представление о геодинамической обстановке растяжения. Ориентировка напряжений. Развитие структур, возникающих в идеальной модели растяжения и их характеристика.

27. Морфологическая характеристика природных сбросов. Сбросы в плане и разрезе. Системы сбросов. Главные и второстепенные разрывы. Анализ аналоговых экспериментов. Сравнение модельных и природных структур.

28. Способы, которыми может реализоваться удлинение слоистых толщ.

29. Сбросообразование, связанное со сдвигами: условия осуществления обстановки растяжения и характеристика структур по данным экспериментов.

30. Характеристика сбросов, связанных с соляными куполами и сводовыми поднятиями по экспериментальным данным.

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

Оценка результатов обучения, соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет
<p><b>Знания</b> (<i>устный опрос</i>) особенностей механизма тектонических деформаций; принципов и методы экспериментальной тектоники; особенностей физического моделирования тектонических структур разного ранга; современных достижений по моделированию структур разного происхождения.</p>	<p>Фрагментарные знания или отсутствие знаний</p>	<p>Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания</p>
<p><b>Умения</b> (<i>устный опрос</i>) соблюдать условия геометрического и физического подобия при аналоговом моделировании тектонических деформаций; создавать модели природных объектов для их экспериментального воспроизведения; соблюдать принципы аналогового моделирования, подбирать эквивалентные материалы для моделирования тектонических структур разного происхождения; моделировать структуры разных рангов, формирующиеся в разных деформационных обстановках</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений</p>	<p>Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности неприципиального характера)</p>
<p><b>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> (<i>устный опрос</i>) навыками конструирования простейших приборов для аналогового моделирования, изготовления моделей из разных материалов, документации экспериментов, анализа результатов экспериментов</p>	<p>Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков</p>	<p>Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме</p>

## **8. Ресурсное обеспечение:**

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

#### **- основная литература:**

1. Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику. М.: Книжный дом «Университет», 2005. 496 с. Имеется в библиотеке и БУПе МГУ, а также в электронном виде <https://www.geokniga.org/books/8286>

2. Методы моделирования в структурной геологии / В.В. Белоусов, А.В. Вихерт, М.А. Гончаров и др. М.: Недра, 1988. 222 с. Имеется в электронном виде: <https://www.twirpx.club/file/2553204/>

#### **- дополнительная литература:**

1. Борняков С.А., Семинский К.Ж., Буддо В.Ю., Мирошниченко А.И., Черемных А.В., Черемных А.С., Тарасова А.А. Основные закономерности разломообразования в литосфере и их прикладные следствия (по результатам физического моделирования) // Геодинамика и тектонофизика. 2014. 5(4). С. 823-861. (Имеется в электронном виде: <https://www.gt-crust.ru/jour/article/view/18/20> )

2. Гончаров М.А. Реальная применимость условий подобия при физическом моделировании тектонических структур // Геодинамика и тектонофизика. 2010. 1(2). С.148-168. (Имеется в электронном виде: <https://doi.org/10.5800/GT-2010-1-2-0012>)

3. Гутерман В.Г. Механизмы тектогенеза (по результатам тектонофизического моделирования). Киев: Наукова думка, 1987. 172 с. (Кафедральный фонд)

4. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. 2-е изд. Новосиб.: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. 409 с. (Имеется в электронном виде: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-glubinnaya-geodinamika.pdf> )

### **Б) Перечень программного обеспечения:**

- лицензионное

нет

- нелицензионное и свободного доступа

пакет программ Open Office, Stereonet, digiCamControl, PIVlab

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

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

### **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-техническое обеспечение:**

Учебная аудитория с мультимедийным проектором.

Прибор для тектонофизического моделирования с различными приспособлениями, два фотоаппарата, компьютер, два прожектора, тренога, весы, контейнеры и кюветы, песок, глина, силикон и др., струбцины, шуруповерт, пила, наждачная бумага и др.

## **9. Язык преподавания – русский.**

**10. Преподаватель (преподаватели):** Ответственный за курс — Фролова Н.С. (сотрудник каф. динамической геологии), преподаватели: Фролова Н.С.

**11. Разработчики программы:** внс Фролова Н.С.