

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан Геологического факультета

академик

\_\_\_\_\_ /Д.Ю.Пущаровский/

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Экспериментальная тектонофизика**

Автор-составитель: Фролова Н.С.

**Уровень высшего образования:**

*Магистратура (ММ)*

**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», уровень магистратуры ММ в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год приема на обучение – 2019

© 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** – изучение богатых возможностей тектонофизического моделирования для решения разнообразных теоретических и практических геологических задач.

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

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, дисциплины по выбору, модуль геотектоника и геодинамика, курс – I, семестр – 2.

### **2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:**

освоение дисциплин «Геологические процессы», «Структурные элементы земной коры». Дисциплина необходима в качестве предшествующей для научно-исследовательской работы и выполнения выпускной квалификационной работы.

### **3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.**

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

ОПК-2. Способность в процессе решения профессиональных задач самостоятельно получать, интерпретировать и обобщать результаты, разрабатывать рекомендации по их практическому использованию (формируется частично),

СПК-1. Способность использовать специализированные знания в области динамической, исторической и региональной геологии, геотектоники и геодинамики, геологии полезных ископаемых, палеонтологии и стратиграфии, литологии и морской геологии для решения научных и практических задач (формируется частично).

### **Планируемые результаты обучения по дисциплине:**

**знать:** основы механики деформаций и разрушения твердых тел; особенности механизма тектонических деформаций; принципы и методы экспериментальной тектонофизики; особенности физического моделирования тектонических структур разного ранга; современные достижения по моделированию структур разного происхождения.

**уметь:** соблюдать условия геометрического и физического подобия при аналоговом моделировании тектонических деформаций; соблюдать принципы аналогового моделирования, подбирать эквивалентные материалы для моделирования тектонических структур разного происхождения; моделировать структуры разных рангов, формирующиеся в разных деформационных обстановках.

**владеть:** навыками конструирования простейших приборов для аналогового моделирования, изготовления моделей из разных материалов, документации экспериментов, анализа результатов экспериментов.

**4. Формат обучения** - практические и семинарские занятия.

**5. Объем дисциплины** составляет 2 з.е., в том числе 36 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (13 часов – занятия практического типа, 13 часа – занятия семинарского типа, 10 часов – мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 36 часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет.

**6.Содержание дисциплины**, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

**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 тектонофизического моделирования структурных парагенезов, характерных для той или иной геодинамической обстановки.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы <i>(виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)</i>
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия практического типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Моделирование в тектонофизике; задачи и принципы аналогового физического моделирования			2	2	4	
Условия подобия в аналоговом физическом моделировании			3	3	6	Подготовка к контрольной работе, 9 часов
Моделирование структур горизонтального сжатия и сочетания горизонтального сжатия с горизонтальным сдвигом в горизонтальной плоскости			2	2	4	Подготовка к контрольной работе, 9 часов
Моделирование структурных парагенезов зон сдвига			2	2	4	Подготовка к контрольной работе, 9 часов
Моделирование структурных парагенезов обстановок трансенсии и транспрессии			2	2	4	Подготовка к контрольной работе, 9 часов
Моделирование структурных парагенезов обстановки горизонтального растяжения			2	2	4	
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>						10
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>26</b>				<b>46</b>

### Содержание разделов дисциплины:

#### Темы семинарских занятий

#### Теоретические основы моделирования в тектонофизике.

**Типы тектонофизических экспериментов.** Природный, искусственный, аналоговый и вычислительный эксперименты. Характеристика каждого из них.

**Соотношение между геологическим объектом и его моделью.** Исследование природного объекта. Построение модели. Проведение и анализ разнообразных экспериментов. Использование результатов экспериментов для уточнения модели. Привлечение данных физики, математики и некоторых других наук. Польза сочетания физического и математического моделирования.

**Фундаментальное и прикладное значение исследования механизмов тектогенеза.** Два метода исследований в тектонофизике. Моделирование как наиболее эффективный метод исследования механизмов тектогенеза. Специфика тектонических деформаций. Значение физического (аналогового) моделирования. Решение прямых и обратных задач методом моделирования. Отношение к результатам моделирования.

**Принципы тектонофизического моделирования.** Специфика тектонических деформаций, обусловленная большими объемами горных пород и длительностью процесса. Принципы М.В. Гзовского. Подобие модели и объекта. Выборочность процессов (факторов) в отношении которых рассматривается подобие. Раздельное изучение действующих на модель факторов. Последовательное приближение модели к объекту. Принцип статистической обоснованности.

**Принцип подобия при физическом (аналоговом) моделировании.** Виды подобия (геометрическое, кинематическое, динамическое). Формула подобия М.В. Гзовского. Анализ параметров, входящих в эту формулу. Сложность в определении понятия и оценки вязкости. Различные виды прочности и трудности ее оценки при тектонических деформациях. Автоматическое выполнение условий подобия в некоторых ситуациях.

**Эквивалентные материалы.** Определение. Три группы эквивалентных материалов: композитные материалы, дисперсные системы и полимеры. Требования к эквивалентным материалам. Физические параметры и механические свойства эквивалентных материалов.

**Техника физического моделирования.** Типы нагружения моделей. Приборы. Изготовление образцов. Маркеры деформации. Способы регистрации и обработки результатов экспериментов.

**История моделирования.** Развитие тектонофизических методов исследований. Краткая характеристика отечественных и зарубежных школ тектонофизики.

### **Аналоговое физическое моделирование**

#### **Моделирование структурных парагенезов, формирующихся в обстановке горизонтального сжатия и сочетания горизонтального сжатия с горизонтальным сдвигом в горизонтальной плоскости (складчато-надвиговые и надвиго-складчатые области)**

Моделирование отдельных складок. Первые эксперименты. Установки, материалы, результаты экспериментов. Эксперименты по воспроизведению участков складчатых и складчато-надвиговых сооружений и таких сооружений целиком. Стремление к подтверждению господствующих представлений (использование сближения штампов, укорочения подложки, сползания со склонов поднятий). Имитация инверсии плотности с помощью теплового импульса. Моделирование складчато-покровных областей (fold-thrust belts), моделирование аккреционных призм (модель индентора и субдукционная модель), моделирование континентальной коллизии.

#### **Моделирование структурных парагенезов зон сдвига**

Характеристика деформации простого сдвига. Типы сдвигов по характеру начального напряженного состояния. Зоны сдвига Риделя и история их моделирования. Моделирование с использованием разных эквивалентных материалов. Моделирование широких зон сдвига. Моделирование с введением неоднородностей. Моделирование с «денудацией» и «осадконакоплением».

#### **Моделирование структурных парагенезов, формирующихся в обстановке трансенсии и транспрессии**

Характеристика обстановок транспрессии и трансенсии. Сложность этих обстановок: сочетание простого сдвига со сжатием или растяжением. Ориентировка осей сжатия, растяжения и разрывов, образующихся в зонах транспрессии и трансенсии. Два способа моделирования таких зон: (а) однородная обстановка вдоль сдвига; (б) неоднородная обстановка (stepover geometries). Особенности структурного парагенеза областей транспрессии и трансенсии в плане и в разрезе.

Формирование поднятий и впадин в моделях зон транспрессии и транстенсии.

### **Моделирование структурных парагенезов, формирующихся в обстановке горизонтального растяжения**

Характеристика обстановки горизонтального растяжения. Ориентировка главных осей напряжений. Эксперименты с однородным по всей длине модели растяжением и эксперименты с локальным растяжением. Формирование сбросов, их ориентировка в плане и разрезе. Влияние неоднородности деформируемой среды. Образование разрывов разного порядка. Эксперименты по воспроизведению обстановки растяжения над растущими поднятиями. Структурные парагенезы, формирующиеся в обстановках растяжения разного типа.

### **Содержание практических занятий**

1. Моделирование структур горизонтального сжатия
2. Моделирование структур сочетания горизонтального сжатия с горизонтальным сдвигом в горизонтальной плоскости
3. Моделирование структурных парагенезов зон сдвига
4. Моделирование структурных парагенезов обстановок транстенсии и транспрессии
5. Моделирование структурных парагенезов обстановки горизонтального растяжения

### **Рекомендуемые образовательные технологии**

В качестве образовательных технологий используются: интерактивные формы занятий, презентации, дискуссии, обсуждения и анализ выполненных экспериментов, самостоятельное выполнение экспериментов в Лаборатории тектонофизики и геотектоники имени В.В. Белоусова с использованием специального оборудования.

## **7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине**

### **7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости**

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных практических работ.

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы/работы.

*Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля/ Темы конт рольных*

*работ :*

Каковы фундаментальные свойства геологической среды?

Какие факторы влияют на свойства геологической среды?

Что может служить в качестве объекта для моделирования в экспериментальной тектонофизике?

Назовите движущие силы и обстановку структурообразования.

Каковы цели тектонофизического моделирования?

Какие новые знания может дать эксперимент в тектонике?

Назовите два подхода к тектонофизическому моделированию.

Что такое аналоговый эксперимент?

Что такое поляризационно-оптическое моделирование?

Какие из 5 принципов тектонофизического моделирования по Гзовскому реально выполнить, а какие затруднительно?

Каково время формирования природных деформационных структур?

Какова вязкость горных пород и как ее можно оценить?

Как оценить предел прочности горных пород при длительных деформациях?

Что мы знаем о величинах тектонических напряжений в земной коре?

Какой закон используется для вывода об автоматическом соблюдении условий подобия в некоторых типах экспериментов?

Какие параметры нужно учитывать для соблюдения условий подобия при моделировании

хрупких деформаций?

В чем, по-вашему, состоит польза аналогового моделирования?

Что такое поверхностные и объемные силы, вызывающие деформации?

Назовите три возможных способа воздействия со стороны лабораторного прибора на эквивалентный материал.

Перечислите приборы для механически активного воздействия на образцы, для механически пассивного воздействия и приборы для немеханического воздействия.

Что кладется в основу выбора эквивалентного материала?

Перечислите эквивалентные материалы, используемые в настоящее время.

Перечислите современные способы регистрации и обработки результатов экспериментов.

В каких условиях можно использовать метод цифровой трассерной визуализации?

Какие материалы использовали в первых экспериментах по воспроизводству складчатых структур?

Какими экспериментами по моделированию участков складчатых сооружений пытались подтвердить контракционную гипотезу?

Какими экспериментами пытались подтвердить гипотезу гравитационного сползания слоистых толщ со склонов тектонических поднятий?

В каких экспериментах по воспроизведению так называемой гравитационной складчатости структура больше всего похожа на природную?

Как моделируют диапировые структуры?

Какие структуры могут сформироваться в эксперименте при инверсии плотности, вызванной горизонтально-однородным тепловым импульсом? А горизонтально-неоднородным?

Основные черты складчато-покровных областей (fold-thrust belts), которые нужно учитывать при их физическом моделировании.

Какие материалы используют для моделирования аккреционных призм?

Каковы граничные условия при моделировании аккреционных призм?

Назовите два варианта субдукционной модели формирования аккреционной призмы.

Чем морфологически отличаются модели, полученные в субдукционной модели и в модели индентора?

Какова роль базального трения в формировании структуры аккреционной призмы?

Какими эквивалентными материалами могут имитироваться различные слои (от мантии до верхней коры) при моделировании континентальной коллизии?

Моделирование складчатого сооружения целиком. Приведите три типа экспериментов.

Какая структура образуется при растяжении на резиновой ленте? Приведите примеры экспериментов.

Приведите примеры моделирования областей растяжения с поверхностью срыва.

Какие существуют способы моделирования грабенов?

Чем структура грабенов в моделях из песка отличается от таковой в моделях из влажной глины?

Приведите хотя бы два эксперимента по моделированию структуры над растущим поднятием.

Нарисуйте самые распространенные в настоящее время приборы для моделирования обстановки растяжения.

Какие структуры формируются в эксперименте с маловязким базальным слоем в основании (обстановка растяжения)?

Каковы основные черты инверсионных структур в моделях?

Опишите структурный парагенез в моделях косоугольного рифтинга.

Как получить объемное изображение цветковых структур в моделях?

Два типа валлообразных поднятий в зонах сдвига, полученные в экспериментах.

Как выглядят цветковые структуры в моделях транспрессии и транстенсии?

Как получить структуры pull-apart в моделях?

Как получить структуры pop-up в моделях?

Какие материалы использовались для моделирования соляных куполов и диапиров в условиях инверсии плотности без применения центрифуги?



Приведите примеры современных экспериментов по моделированию соляных куполов и диапиров в условиях инверсии плотности без применения центрифуги? Какие материалы использовались?

Приведите примеры диапировых структур, полученных в условиях инверсии плотности с применением центрифуги.

Каким образом удалось получить тепловую конвекцию двух рангов в моделях?

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

### *Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:*

1. Что такое механизмы тектогенеза. Фундаментальное и прикладное значение их исследований. Методы исследования механизмов тектогенеза. Эффективность этих методов.

2. Эксперимент в тектонофизике. Его особенности. Важность эксперимента в тектонофизике.

3. Виды (типы) экспериментов.

4. Цели тектонофизического моделирования.

5. Решение прямых и обратных задач методом тектонофизического моделирования.

Проблема неоднозначности решения обратных задач методом моделирования.

6. Пять принципов тектонофизического моделирования, сформулированные М.В. Гзовским.

7. Специфика тектонических деформаций в природе.

8. Виды подобия. Формула подобия Гзовского. Параметры, входящие в эту формулу. Их оценка.

9. Автоматическое выполнение условий подобия в некоторых видах экспериментов.

10. Эквивалентные материалы. Определение, виды.

11. Методы регистрации результатов экспериментов

12. Типы приборов, применяемых при физическом аналоговом моделировании

13. Типы сдвигов по характеру начального напряженного состояния.

14. 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.

15. 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).

16. Условия формирования трещин отрыва в зонах сдвига (в том числе на примере собственных экспериментов).

17. 4 стадии формирования разломной зоны (зона сдвига Риделя). Структурный парагенез каждой стадии (в том числе на примере собственных экспериментов).

18. Область активного динамического влияния разлома в случае неоднородного простого сдвига. Ее развитие (в том числе на примере собственных экспериментов).

19. Отличие структурных парагенезов однородного и неоднородного простого сдвига в экспериментах.

20. Геометрия опережающих разрывов на глубине. Геликоидальная форма сколов Риделя. Цветковые структуры зон сдвига (по литературным данным и на примере собственных экспериментов).

21. Особенности структурного парагенеза, возникающего в обстановке трансенсии. (по литературным данным и на примере собственных экспериментов).

22. Особенности структурного парагенеза, возникающего в обстановке транспрессии. (по литературным данным и на примере собственных экспериментов).

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

24. Морфологическая характеристика природных сбросов. Сбросы в плане и разрезе.

Системы сбросов. Главные и второстепенные разрывы. Анализ аналоговых экспериментов. Сравнение модельных и природных структур.

25. Способы, которыми может реализоваться удлинение слоистых толщ.

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

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

### **Требования к зачету:**

1. Знать основы механики деформаций и разрушения твердых тел, особенности механизма тектонических деформаций.

2. Знать принципы и методы экспериментальной тектонофизики, особенности физического моделирования тектонических структур разного ранга.

3. Уметь соблюдать условия геометрического и физического подобия при аналоговом моделировании тектонических деформаций.

4. Соблюдать принципы аналогового моделирования, подбирать эквивалентные материалы для моделирования тектонических структур разного происхождения.

5. Уметь моделировать структуры разных рангов, формирующиеся в разных деформационных обстановках.

6. Владеть навыками изготовления моделей из разных материалов, документации экспериментов, анализа результатов экспериментов.

### **8. Ресурсное обеспечение:**

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

##### **- основная литература:**

*Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С.* Введение в тектонофизику. М.: Книжный дом «Университет», 2005. 496 с.

*Гончаров М.А.* Количественные соотношения геодинамических систем и геодинамических циклов разного ранга // Геотектоника. 2006. № 2. С. 3–23.

Методы моделирования в структурной геологии / В.В. Белоусов, А.В. Вихерт, М.А. Гончаров и др. М.: Недра, 1988. 222 с.

Экспериментальная тектоника: (Методы, результаты, перспективы). М.: Наука, 1989. 302 с.

*Хаин В.Е., Ломизе М.Г.* Геотектоника с основами геодинамики // М.: Книжный дом «Университет», 2005. 560 с.

##### **- дополнительная литература:**

*Гончаров М.А.* Механизм геосинклинального складкообразования. М.: Недра, 1988. 264 с.

*Хаин В.Е., Гончаров М.А.* Геодинамические циклы и геодинамические системы разного ранга: их соотношение и эволюция в истории Земли // Геотектоника. 2006. № 5. С. 3–23.

#### **Б) Материально-технического обеспечение:**

а) помещения – аудитория, рассчитанная на группу из 10 учащихся; лаборатория с подведенной водой и вытяжным шкафом.

б) оборудование – мультимедийный проектор, компьютер, экран, прибор для тектонофизического моделирования, два фотоаппарата, тренога, весы, контейнеры и кюветы.

в) иные материалы – песок, глина, силикон и др., струбцины, шурупверт, наждачная бумага и др.

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

### **10. Преподаватель (преподаватели) – Фролова Н.С.**

### **11. Автор (авторы) программы – Фролова Н.С.**