

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

**УТВЕРЖДАЮ**

**Декан Геологического факультета  
академик**

\_\_\_\_\_/Д.Ю.Пушаровский/

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Глубинная геодинамика и экспериментальная тектоника**

Автор-составитель: Фролова Н.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 20\_\_

---

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*) в редакции приказа МГУ №1674 от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение – 2018.

© 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** – распространение знаний, полученных ранее в бакалавриате, по курсам «Геотектоника» и «Тектонофизика» применительно к верхним геосферам Земли, на глубинные геосферы нашей планеты, а также изучение богатых возможностей физического моделирования для решения разнообразных теоретических и практических геологических задач.

**Задачи:** (а) углубление знаний о строении Земли; (б) анализ концепции тектоники литосферных плит и ее ограничений; (в) знакомство с теоретическими основами иерархической конвективной геодинамики и характеристиками надглобальных и глобальных геодинамических систем разных рангов; (г) выработка представлений о значении, задачах и принципах физического (аналогового) моделирования; (д) знакомство с примерами моделирования геодинамических структур разных рангов; (е) выработка навыков самостоятельного моделирования структурных парагенезов разных рангов, формирующихся в той или иной геодинамической обстановке.

В результате освоения дисциплины у магистров должно сложиться цельное представление о механизме формирования разномасштабного спектра тектонических структур, от асимметрии Земли до мелких складок и разрывов и возможностях их моделирования.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, профессиональный цикл, курс – II, семестр – 3.

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

освоение дисциплин «Информатика», «Физика», «Общая геология», «Структурная геология и геокартирование», «Геотектоника», «Тектонофизика», «Тектонофизика. Дополнительные главы». Дисциплина необходима для научно-исследовательской работы и выполнения выпускных квалификационных работ.

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

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

ПК-4.М Способность создавать и исследовать модели изучаемых объектов на основе использования теоретических и практических знаний в области геологии (формируется частично).

СПК-3.М Способность реконструировать кинематику и динамику формирования структур земной коры; определять и реконструировать структурные парагенезы, сформировавшиеся в различных геодинамических обстановках (формируется частично).

## **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):**

**знать:** основы глубинной тектоники и методы ее познания; основы механики деформаций и разрушения твердых тел; особенности механизма тектонических деформаций; основы тектоники литосферных плит; спорные аспекты тектоники плит; принципы и методы экспериментальной тектоники; 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; 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.

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

**4. Формат обучения** – лекционные, практические и семинарские занятия.

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет 2 з.е., в том числе 52 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (4 часа – занятия лекционного типа, 14 часов – занятия практического типа, 24 часа – занятия семинарского типа, 10 часов – мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 20 академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

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

**Краткое содержание дисциплины (аннотация):**

Изучение дисциплины предусматривает углубление знаний о строении Земли, анализ концепции тектоники литосферных плит и ее ограничений, знакомство с теоретическими основами иерархической конвективной геодинамики и характеристиками надглобальных и глобальных геодинамических систем разных рангов, 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.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы * (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия практического типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Концепция тектоники литосферных плит и ее ограничения. Теоретические основы иерархической геодинамики		2			2	
Раздел 2. Иерархическая конвективная геодинамика		2			2	Подготовка краткого реферативного доклада 3 ч
Раздел 3. Моделирование в тектонике; задачи и принципы аналогового физического моделирования				4	4	
Раздел 4. Условия подобия в аналоговом физическом моделировании				2	2	
Раздел 5. История и примеры моделирования тектонических структур разного ранга.				2	2	Подготовка к текущему опросу 1 ч
Раздел 6. Моделирование структурных парагенезов обстановки сочетания горизонтального сжатия с горизонтальным сдвигом в горизонтальной плоскости			4	4	8	Обработка экспериментальных данных и подготовка отчета по проведенному эксперименту 4 ч
Раздел 7. Моделирование структурных парагенезов обстановки простого сдвига			3	4	7	Обработка экспериментальных данных и подготовка отчета по проведенному эксперименту 4 ч
Раздел 8. Моделирование структурных парагенезов обстановок трансенсии и транспрессии			3	2	5	Обработка экспериментальных данных и подготовка отчета по проведенному эксперименту 4 ч
Раздел 9. Моделирование структурных парагенезов обстановки горизонтального растяжения			4	4	8	Обработка экспериментальных данных и подготовка отчета по проведенному эксперименту 4 ч
Раздел 10. Сравнительный анализ экспериментальных данных. Области применения глубинной геодинамики и экспериментальной тектоники				2	2	
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>						10
<b>Итого</b>	<b>72</b>				<b>42</b>	<b>30</b>

## **Содержание разделов дисциплины:**

### **Содержание лекционных занятий**

**Введение.** Глубинная тектоника и методы ее познания.

### **Концепция тектоники литосферных плит и ее ограничения**

Основные положения тектоники плит.

Тектонические структуры и процессы, не объяснимые с позиций концепции тектоники литосферных плит.

Теоретические основы иерархической геодинамики

Фундаментальные свойства геологической сплошной среды. Конвекция в отдельной геосфере или толще.

Иерархическая конвекция в иерархически соподчиненных геосферах и толщах.

### **Иерархическая конвективная геодинамика**

Расширение рамок глубинной геодинамики. Иерархия геосфер и толщ Земли как основа создания концепции иерархической геодинамики.

Надглобальная геодинамическая система 0-го ранга (ГС–0). Глобальная геодинамическая система 1-го ранга (ГС–1).

Субглобальная геодинамическая система 2-го ранга (ГС–2).

Надрегиональная геодинамическая система 3-го ранга (ГС–3).

Региональная геодинамическая система 4-го ранга (ГС–4).

Локальные геодинамические системы мелкомасштабных рангов.

Иерархия геодинамических циклов и ее связь с иерархией геодинамических систем.

Соотношение процессов конвекции и адвекции в глубинной геодинамике.

## **Содержание практических занятий.**

1. Знакомство с прибором для тектонофизического моделирования. Изучение эквивалентных материалов, используемых для практических занятий. Подготовка гранулированных материалов к занятиям (просеивание и окрашивание песка). Знакомство с компьютерной программой для автоматического фотографирования процесса деформации. Моделирование структурных парагенезов обстановки сочетания горизонтального сжатия с горизонтальным сдвигом в горизонтальной плоскости Подготовка к моделированию аккреционной призмы (субдукционная модель): установка приспособления к прибору, создание слоистого образца, деформирование образца и его фотографирование с разных сторон.
2. Моделирование структурных парагенезов обстановки простого неоднородного сдвига. установка приспособления к прибору, подготовка эквивалентного материала (паста глины определенной влажности), создание образца, осуществление сдвига, фотографирование образца.
3. Моделирование структурных парагенезов обстановок трансенсии и транспрессии. Установка приспособления к прибору. Создание тонкослоистого образца из цветного песка. образца, осуществление сдвига, фотографирование образца. Промачивание образца и выполнение вертикальных разрезов с фотографированием.
4. Моделирование структурных парагенезов обстановки горизонтального растяжения. установка приспособления к прибору создание тонкослоистого слоистого образца, деформирование образца и его фотографирование с разных сторон.

## **Содержание семинарских занятий.**

### **Теоретические основы моделирования в тектонике**

**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.

**Надглобальная геодинамическая система 0-го ранга (ГС-0).** Моделирование дифференцированного вращения геосфер Земли и западной компоненты дрейфа континентов. Моделирование сети планетарной трещиноватости.

**Глобальная геодинамическая система 1-го ранга (ГС-1).** Возможности моделирования дрейфа континентов. Перспективы моделирования распада и возникновения суперконтинентов.

**Субглобальная геодинамическая система 2-го ранга (ГС-2).** Моделирование спрединга. Моделирование субдукции.

**Надрегиональная геодинамическая система 3-го ранга (ГС-3).** Моделирование мантийных диапиров под задуговыми бассейнами и сопряженных с ними зон субдукции. Моделирование системы продольных поднятий и впадин в зонах коллизии. Моделирование шарьяжей. Моделирование рифтовых систем. Моделирование системы поперечных впадин в зонах спрединга. Моделирование трансформных разломов.

**Региональная геодинамическая система 4-го ранга (ГС-4).** Моделирование системы антиклинорий и синклинорий и осложняющих их складок. Моделирование соляных куполов. Моделирование зон сдвига, транспрессии и транстенсии, моделирование зон растяжения.

**Локальные геодинамические системы мелкомасштабных рангов.** Моделирование отдельных складок. Моделирование кливажа. Моделирование трещиноватости и мелких разрывов. Моделирование тектонического разлинзования слоев и будинажа.

**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 транстенсии и транспрессии**

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

### **Заключение**

Сравнение результатов экспериментов с теоретическими моделями, экспериментами предшественников и природными данными.

Применение экспериментальных данных для теоретических и практических целей интерпретации данных сейсморазведки, поиска полезных ископаемых.

## **Рекомендуемые образовательные технологии**

В качестве образовательных технологий используются: интерактивные формы занятий, презентации, доклады, дискуссии, обсуждения и анализ выполненных экспериментов и рефератов, 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 (модулю)**

### **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 по аналоговому моделированию различных структур. Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы.

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

Домашние задания для самостоятельной подготовки студентов:

Обработка экспериментов, выполненных в Лаборатории: описание экспериментов, дешифрирование и анализ фотографий, выводы из полученных материалов.

Подготовка обзоров по современному состоянию тех разделов экспериментальной тектоники, которые перекликаются с самостоятельно выполненными работами.

### **Рекомендуемые темы докладов, рефератов:**

1. Земная кора и мантия как механически неоднородная среда.
2. Условия возникновения конвекции.
3. Отличие понятий «геодинамическая система», «геодинамическая ячейка» и «геодинамический домен».
4. Сравнительные достоинства и недостатки физического (аналогового) и математического моделирования.
5. Оценка деформационных свойств пород и толщ в природе.
6. Область моделирования, в которой не требуется соблюдения условий подобия.
7. Обоснование «автоматического» выполнения условий подобия в ряде случаев.
8. Гранулированные среды и их поведение в эксперименте.
9. Изучение моделей в объеме. Новые технологии и результаты.
10. Изучение рельефа поверхности моделей современными методами
11. Эксперименты, в которых требуется учет гравитационной нагрузки.
12. Трещины третьего порядка в зонах сдвига Риделя
13. Моделирование аккреционных призм в разных лабораториях
14. Моделирование зон сдвига разной сложности
15. Моделирование трансенсии и транспрессии двух типов.
16. Моделирование обстановки растяжения с использованием различных эквивалентных материалов в одном эксперименте
17. Моделирование инверсионных структур

### **Перечень вопросов для текущего контроля успеваемости:**

1. Дайте характеристику геологических объектов. Чем они отличаются от объектов, изучаемых другими науками?
2. Каковы фундаментальные свойства геологической среды?
3. Какие факторы влияют на свойства геологической среды?
4. Что может служить в качестве объекта для моделирования в экспериментальной тектонике?
5. Назовите движущие силы и обстановку структурообразования.
6. Какова роль времени в геологии. Как ее можно учесть в экспериментах?
7. Как следует относиться к положительному результату эксперимента?
8. Каковы цели тектонофизического моделирования?
9. Какие новые знания может дать эксперимент в тектонике?
10. Назовите два подхода к тектонофизическому моделированию.
11. Какие типы экспериментов в тектонике вы знаете?
12. Что такое аналоговый эксперимент?
13. Что такое поляризационно-оптическое моделирование?
14. Какие из 5 принципов тектонофизического моделирования по Гзовскому реально выполнить, а какие затруднительно?

15. Каково время формирования природных деформационных структур?
16. Какова вязкость горных пород и как ее можно оценить?
17. Вязкость пород и вязкость деформируемых толщ – это одно и то же или нет?
18. Как оценить предел прочности горных пород при длительных деформациях?
19. Что мы знаем о величинах тектонических напряжений в земной коре?
20. Какой закон используется для вывода об автоматическом соблюдении условий подобия в некоторых типах экспериментов?
21. Какие параметры нужно учитывать для соблюдения условий подобия при моделировании хрупких деформаций?
22. В чем, по-вашему, состоит польза аналогового моделирования?
23. Что такое поверхностные и объемные силы, вызывающие деформации?
24. Назовите три возможных способа воздействия со стороны лабораторного прибора на эквивалентный материал.
25. Перечислите приборы для механически активного воздействия на образцы, для механически пассивного воздействия и приборы для немеханического воздействия.
26. Что кладется в основу выбора эквивалентного материала?
27. Перечислите эквивалентные материалы, используемые в настоящее время.
28. Перечислите современные способы регистрации и обработки результатов экспериментов.
29. В каких условиях можно использовать метод цифровой трассерной визуализации?
30. Какие материалы использовали в первых экспериментах по воспроизводству складчатых структур?
31. Какими экспериментами по моделированию участков складчатых сооружений пытались подтвердить контракционную гипотезу?
32. Какими экспериментами пытались подтвердить гипотезу гравитационного сползания слоистых толщ со склонов тектонических поднятий?
33. В каких экспериментах по воспроизведению так называемой гравитационной складчатости структура больше всего похожа на природную?
34. Как моделируют диапировые структуры?
35. Какие структуры могут сформироваться в эксперименте при инверсии плотности, вызванной горизонтально-однородным тепловым импульсом? А горизонтально-неоднородным?
36. Основные черты складчато-покровных областей (fold-thrust belts), которые нужно учитывать при их физическом моделировании.
37. Какие материалы используют для моделирования аккреционных призм?
38. Каковы граничные условия при моделировании аккреционных призм?
39. Назовите два варианта субдукционной модели формирования аккреционной призмы.
40. Чем морфологически отличаются модели, полученные в субдукционной модели и в модели индентора?
41. Какова роль базального трения в формировании структуры аккреционной призмы?
42. Какими эквивалентными материалами могут имитироваться различные слои (от мантии до верхней коры) при моделировании континентальной коллизии?
43. Моделирование складчатого сооружения целиком. Приведите три типа экспериментов.
44. Какая структура образуется при растяжении на резиновой ленте? Приведите примеры экспериментов.
45. Приведите примеры моделирования областей растяжения с поверхностью срыва.
46. Какие существуют способы моделирования грабенов?
47. Чем структура грабенов в моделях из песка отличается от таковой в моделях из влажной глины?

48. Приведите хотя бы два эксперимента по моделированию структуры над растущим поднятием.
49. Нарисуйте самые распространенные в настоящее время приборы для моделирования обстановки растяжения.
50. Какие структуры формируются в эксперименте с маловязким базальным слоем в основании (обстановка растяжения)?
51. Каковы основные черты инверсионных структур в моделях?
52. Опишите структурный парагенез в моделях косоугольного рифтинга.
53. Как получить объемное изображение цветковых структур в моделях?
54. Два типа валообразных поднятий в зонах сдвига, полученные в экспериментах.
55. Как выглядят цветковые структуры в моделях транспрессии и трансенсии?
56. Как получить структуры pull-apart в моделях?
57. Как получить структуры pop-up в моделях?
58. Какие материалы использовались для моделирования соляных куполов и диапиров в условиях инверсии плотности без применения центрифуги?
59. Приведите примеры современных экспериментов по моделированию соляных куполов и диапиров в условиях инверсии плотности без применения центрифуги? Какие материалы использовались?
60. Приведите примеры диапировых структур, полученных в условиях инверсии плотности с применением центрифуги.
61. Каким образом удалось получить тепловую конвекцию двух рангов в моделях?

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

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

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.

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: основ глубинной тектоники и тектоники литосферных плит, спорных аспекты тектоники плит; основные механизмы структурообразования; принципов и методов экспериментальной тектоники; особенностей физического моделирования тектонических структур разного ранга; современных достижений по моделированию структур разного	Отсутствуют знания по всем перечисленным аспектам основ глубинной тектоники, принципов и методов аналогового физического моделирования, современных достижений экспериментальной тектоники	Фрагментарные знания основ глубинной тектоники, принципов и методов аналогового физического моделирования, современных достижений экспериментальной тектоники	Общие, но не структурированные знания основ глубинной тектоники, принципов и методов аналогового физического моделирования, современных достижений экспериментальной тектоники	Систематические знания основ глубинной тектоники, принципов и методов аналогового физического моделирования, современных достижений экспериментальной тектоники

происхождения.				
Умения: соблюдать условия геометрического и физического подобия при аналоговом физическом моделировании; осуществлять принципы аналогового моделирования, подбирать эквивалентные материалы и моделировать структуры разных рангов, формирующиеся в разных деформационных обстановках.	Отсутствуют умения: соблюдать принципы аналогового моделирования; осуществлять эксперименты по воспроизведению ряда структур разного ранга, формирующихся в различных деформационных обстановках	В целом успешное, но не систематическое умение, неточности при соблюдении принципов аналогового моделирования; осуществлении экспериментов по воспроизведению ряда структур разного ранга, формирующихся в различных деформационных обстановках	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение соблюдать принципы аналогового моделирования; осуществлять эксперименты по воспроизведению ряда структур разного ранга, формирующихся в различных деформационных обстановках	Успешное умение соблюдать принципы аналогового моделирования; осуществлять эксперименты по воспроизведению ряда структур разного ранга, формирующихся в различных деформационных обстановках
Владение навыками конструирования простейших приборов для аналогового моделирования, изготовления моделей из разных материалов, документации экспериментов, анализа результатов экспериментов.	Отсутствуют навыки владения изготовлением приборов и моделей, документации результатов экспериментов	Частичное владение навыками изготовления приборов и моделей, документации результатов экспериментов	В целом сформированные навыки изготовления приборов и моделей, документации результатов экспериментов	Владение в полном объеме навыками изготовления приборов и моделей, документации результатов экспериментов

## 8. Ресурсное обеспечение:

### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

#### - основная литература:

#### - основная литература:

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

#### - дополнительная литература:

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

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

*Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А.* Глубинная геодинамика. 2-е изд. Новосибир.: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. 409 с.

*Кирдяшкин А.Г.* Тепловые гравитационные течения и теплообмен в астеносфере. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. 81 с.

*Лобковский Л.И., Котелкин В.Д.* Двухъярусная термохимическая модель конвекции в мантии и ее геодинамические следствия // Проблемы глобальной геодинамики. М.:

- ГЕОС, 2000. С. 29–53.
- Лукьянов А.В.* Пластическая деформация и тектоническое течение в литосфере. М.: Наука, 1991. 144 с.
- Методы моделирования в структурной геологии / В.В. Белоусов, А.В. Вихерт, М.А. Гончаров и др. М.: Недра, 1988. 222 с.
- Пуцаровский Ю.М., Пуцаровский Д.Ю.* О тектоно-геодинамической модели Земли нового поколения – обзор проблемы // Геотектоника. 2006. № 3. С. 3–8.
- Пуцаровский Ю.М., Пуцаровский Д.Ю.* Геология мантии Земли. М.: ГЕОС, 2010. 140 с.
- Рамберг Х.* Сила тяжести и деформации в земной коре. М.: Недра, 1985. 399 с.
- Трубицын В.П., Рыков В.В.* Мантийная конвекция с плавающими континентами // Проблемы глобальной геодинамики. М.: ГЕОС, 2000. С. 7–28.
- Фундаментальные проблемы общей тектоники. М.: Научный мир, 2001. 520 с.
- Белоусов В.В., Гзовский М.В.* Экспериментальная тектоника. М., Недра, 1964. 117с.
- Белоусов В.В., Гончаров М.А.* Автоматическое выполнение условий подобия в простейших случаях тектонического моделирования // Экспериментальная тектоника и полевая тектонофизика. Киев, Наукова думка. 1991. С. 16–20.
- 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.
- Гутерман В.Г.* Механизмы тектогенеза (по результатам тектонофизического моделирования). Киев: Наукова думка, 1987. 172 с.
- Лукьянов А.В.* Эксперимент в тектонике // Экспериментальная тектоника: (Методы, результаты, перспективы). М.: Наука, 1989. С. 9–31.
- Ребецкий Ю.Л., Михайлова А.В., Сим Л.А.* Структуры разрушения в глубине зон сдвига. Результаты тектонофизического моделирования // Проблемы тектонофизики. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН. М.: Изд. ИФЗ. 2008. С. 103-140.
- Стоянов С.С.* Механизм формирования разрывных зон. М.: Недра, 1977. 144 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.
- Хаин В.Е., Ломизе М.Г.* Геотектоника с основами геодинамики // М.: Книжный дом «Университет», 2005. 560 с.
- Шерман С.И.* Современные проблемы экспериментальной тектоники // Экспериментальная тектоника и полевая тектонофизика. Киев, Наукова думка, 1991. С. 3–12.
- Экспериментальная тектоника: (Методы, результаты, перспективы).* М.: Наука, 1989. 302 с.
- Экспериментальная тектоника в теоретической и прикладной геологии.* М., Наука, 1985.
- Bonini M., Sani F., Antonielli B.* Basin inversion and contractional reactivation of inherited normal faults: a review based on previous and new experimental models // Tectonophysics 522-523 (2012) 55-88
- Currie J.B.* Experimental structural geology // Earth. Sci. Rev., 1966. Vol. 1. N 1.
- Dooley T., McClay K.* Analog modelling of pull-apart basins // AAPG Bulletin. 1997. V. 81. No. 11. P. 1804-1826.
- Dooley T. P., Schreurs G.* Analogue modelling of intraplate strike-slip tectonics: A review and new experimental results // Tectonophysics, 2012. V. 574–575. P. 1–71.
- Graveleau F, Malavieille J, Dominguez S.* Experimental modelling of orogenic wedges: A review // Tectonophysics 538-540 (2012). P. 1–66.
- Panien M., Schreurs G., Pfiffner A.* Sandbox experiments on basin inversion: testing the influence of basin orientation and basin fill // Journal of Structural Geology 27 (2005) 433-445.

*Wu J.E., McClay K., Whithouse P., Dooley T.* 4D analogue modelling of transtensional pull-apart basins // *Marine and Petroleum Geology* 26 (2009). P 1608 – 1623.

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения пакеты программ: Microsoft Office PowerPoint

Г) Программное обеспечение (лицензионное программное обеспечение не требуется): Stereonet, digiCamControl, PIVlab.

Д) Материально-технического обеспечение: а) помещения – аудитория, рассчитанная на группу из 15 учащихся; лаборатория с подведенной водой и вытяжным шкафом.

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

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

9. Язык преподавания – русский.

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

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