

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

Тектонофизика

Автор-составитель: Фролова Н.С.

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Геология и полезные ископаемые

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 – теоретическое освоение основных базовых разделов тектонофизики и физически обоснованное понимание роли и возможностей этой дисциплины при решении геологических задач.

Задачи: приобретение знаний об основах механики деформаций и разрушения твердых тел, выработка понимания особенностей деформационного процесса в геологической среде, приобретение навыков интерпретации элементарных природных структур как индикаторов деформаций и напряжений.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В дисциплине «Тектонофизика», прежде всего, рассматриваются основы механики деформаций и разрушения твердых тел: понятия о деформациях, напряжениях и их связи (элементы реологии). Затем обсуждаются особенности механизма тектонических деформаций, связанные с изменчивостью деформационных свойств горных пород, влиянием силы тяжести, неоднородностью геологической среды. Дается представление о деформационных механизмах на разных структурных уровнях геологической среды, зарождении и развитии разрывных нарушений. И, наконец, вводится представление об элементарных геодинамических обстановках, их сочетании в пространстве и смене во времени. Изложение ведется как на основе механики сплошных сред, так и на основе механики структурированных сред.

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», «Информатика», «Физика», «Общая геология», «Структурная геология и геокартирование».

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 |
|--|---|--|
| ОПК-3.Б. Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично) | Б.ОПК-3. И-1. Использует типовые подходы и методы при решении задач профессиональной деятельности. | Знать: особенности деформируемой геологической среды; основы механики деформаций и разрушения твердых тел; взаимоотношения напряжений и деформаций; механизмы тектонических деформаций разных рангов; влияние силы тяжести на тектонические деформации. Уметь: различать основные типы деформаций, выделять структурные уровни деформации; определять тип напряженного состояния при формировании природных структур; различать механизмы пластической деформации в зависимости от ранга деформируемого тела; учитывать изменчивость деформационных свойств горных пород и толщ при разных значениях «внешних» параметров (температуры, литостатического давления и наличия |

| | | |
|---|--|--|
| | | флюидов). |
| СПК-1.Б Способен решать научные и практические задачи на основе углубленных знаний в области региональной геологии, геотектоники и геодинамики, литологии и морской геологии, палеонтологии, геологии полезных ископаемых (формируется частично). | Б.СПК-1. И-1. Использует и применяет знания и навыки в области геологии, геотектоники, геоморфологии, тектонофизики, палеомагнитологии, неотектоники, физики Земли, геодинамики при решении научных и практических задач | Владеть: навыками интерпретации простейших природных структурных парагенезов как индикаторов деформаций и напряжений, рядом методов реконструкции тектонических деформаций и напряжений, терминологией, применяемой в таком разделе геологии, как тектонофизика |

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе 42 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (28 часов лекции и 14 часов семинары), 30 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 в тектонофизику. Основы механики деформаций и разрушения твердых тел | 12 | 4 | | 2 | 6 | | | 6 | | 6 |
| Раздел 2. Основные типы деформаций. Простейшие случаи реконструкции деформаций | 7 | 4 | | 1 | 5 | 2 | | | | 2 |
| Раздел 3. Особенности механизма тектонических деформаций | 11 | 5 | | 3 | 8 | 3 | | | | 3 |
| Раздел 4. Компенсационная организация тектонического течения в земной коре и структурные парагенезы | 9 | 5 | | 2 | 7 | 2 | | | | 2 |
| Раздел 5. Механизмы пластической деформации на разных структурных уровнях неоднородной геологической среды | 11 | 5 | | 3 | 8 | 3 | | | | 3 |
| Раздел 6. Механизмы зарождения и развития разрывных нарушений в | 10 | 4 | | 2 | 6 | | | | 4 | 4 |

| | | | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------------------|--|---|----------|-----------|--|--|--|--|
| неоднородной геологической среде | | | | | | | | | | |
| Раздел 7. Теоретический и практический аспекты изучения тектонофизики | 2 | 1 | | 1 | 2 | | | | | |
| Промежуточная аттестация <u>экзамен</u> | 10 | <i>Устный экзамен</i> | | | | 10 | | | | |
| Итого | 72 | 42 | | | | 30 | | | | |

Содержание лекций, семинаров

Содержание лекций

Тектонофизика – научная дисциплина, пограничная между геотектоникой и физикой. Теоретическое и практическое значение понимания кинематики и динамики тектонического процесса. Методы тектонофизики. В.В. Белоусов и М.В. Гзовский – основатели отечественной тектонофизики.

1. Основы механики и разрушения твердых тел

1.1. Представление о земной коре как механически неоднородной среде. Неоднородности разных рангов. Возможность применения понятия сплошной среды с учетом дискретного строения реальных геологических тел (минералов, пород, толщ). Однородность и неоднородность, изотропия и анизотропия сплошной среды.

1.2. Тектоническое течение как сочетание поступательного движения, вращения и деформации элементарных объемов геологической сплошной среды. Понятие о течении в механике сплошной среды. О судьбе термина «течение». Тектоническое течение. Деформация как изменение взаимного расположения частиц элементарного объема. Размерность и единицы измерения деформации. Главные оси деформации. Деформация как тензор. Эллипсоид деформации. Однородные и неоднородные деформации геологических тел. Простейшие типы деформаций. Относительность понятия однородности деформации применительно к телам разного масштабного ранга. Простейшие количественные расчеты в случаях однородной деформации. Скорости компонентов тектонического течения, их размерность и единицы измерения.

1.3. Напряженное состояние сплошной среды. Силы в трех законах Ньютона. Одноосное напряженное состояние. Нормальные и касательные напряжения, их соотношение. Двухосное напряженное состояние. Трехосное напряженное состояние. Главные оси напряжений. Общее напряжение как сочетание равномерного всестороннего сжатия и девиаторного напряжения, роль этих составляющих в деформации элементарного объема. Размерность и единицы измерения напряжений. Поле напряжений.

1.4. Взаимоотношение напряжений и деформаций (элементы реологии). Упругая деформация. Предел упругости. Пластическая деформация. Механизмы пластической деформации в зависимости от ранга деформируемого тела. Релаксация и ползучесть.

1.5. Прочность и разрушение тел. Предел прочности. Отрыв и скалывание. Хрупкое и вязкое разрушение. Относительность понятий о пластической и разрывной деформации в зависимости от соотношения размеров тел и нарушающих их сплошность разрывов (трещин). Разрывная деформация некоторого объема среды как механизм пластической деформации более крупного объема, альтернатива пластической деформации соразмерного объема и координатор пластической деформации более мелких объемов. Разрывное нарушение как предельный случай неоднородности деформации.

2. Основные типы деформаций и принципы реконструкции тектонических деформаций и напряжений

2.1. Основные типы деформаций. Деформация укорочения-удлинения и деформация простого сдвига. Их особенности. Эллипсоид деформации и его форма. Вывод основных формул для решения простейших задач на реконструкцию деформаций.

2.2. Принципы реконструкции и анализа деформаций и напряжений. Отличие реконструкции деформаций от реконструкции напряжений. Значение количественной оценки деформаций горных пород и толщ. Специфика геологической среды, которую надо учитывать при реконструкции деформаций и напряжений. Понятие о стрейн-анализе.

3. Особенности механизма тектонических деформаций

3.1. Специфика тектонических деформаций, обусловленная большими объемами горных пород и длительностью процесса. Невозможность экспериментов с природными геологическими объектами. Принципы физического моделирования тектонических деформаций. Условия геометрического и физического подобия. Эквивалентные

материалы. Упрощение моделирования в случае автоматического выполнения условий подобия.

3.2. Деформационные свойства горных пород и толщ. Различия и изменчивость деформационных свойств горных пород и толщ при разных значениях «внешних» параметров. Роль поровых и трещинных флюидов. Зависимость деформационных свойств геологических тел от их ранга и размера (минералов, пород, слоистых толщ пород). Влияние неоднородности и анизотропии строения тел на их деформационные свойства.

3.3. Неустойчивость пластической деформации однородной среды. Образование шеек и трещин отрыва при растяжении слоев. Складкообразование при сжатии слоев. Концентрация деформации во все более узкой зоне при сдвиге. Разрывообразование как предельный случай неустойчивости пластической деформации. Энергетическая причина неустойчивости деформации. Усиление неустойчивости деформации в случае неоднородной среды.

3.4. Влияние силы тяжести на тектонические деформации. Тектоническое течение, обусловленное силой тяжести. Инверсия плотности в земной коре, причины ее возникновения и роль в тектонических деформациях. Критерий устойчивости Рэлея. Условия возникновения конвекции. Условия функционирования конвекции в линейной или купольной формах.

4. Компенсационная организация тектонического течения в земной коре и структурные парагенезы

4.1. Структурно-парагенетический анализ. Понятие о парагенезах – значительный прогресс в разных областях геологии. Переход от описания отдельных структурных форм к выявлению парагенезов этих форм, образовавшихся в единой геодинамической обстановке. Представление реальных геодинамических обстановок в земной коре в виде сочетания элементарных обстановок

4.2. Элементарные геодинамические обстановки. Понятие об элементарных геодинамических обстановках. Комбинаторный анализ различных вариантов элементарных геодинамических обстановок. Роль первоначально горизонтальной слоистости в принципиальном различии элементарных геодинамических обстановок. Представление реальных геодинамических обстановок в земной коре в виде сочетания элементарных.

4.3. Структурные формы в разных элементарных геодинамических обстановках. Горизонтальное сжатие. Горизонтальное растяжение. Горизонтальный сдвиг в горизонтальной плоскости. Горизонтальный сдвиг в вертикальной плоскости. Вертикальный сдвиг.

4.5. Пространственное сочетание элементарных геодинамических обстановок и соответствующих им структурных парагенезов как результат компенсационной организации тектонического течения в земной коре. Отличие понятий «тектоническое движение» и «тектоническая деформация». Структурный парагенез как отражение только деформационного компонента тектонического течения. Взаимная компенсация вертикальных и горизонтальных тектонических движений. Компенсация (в шахматном порядке) горизонтального сжатия на одних участках горизонтальным растяжением на соседних (по латерали и вертикали) участках. Геодинамическая ячейка: координация компенсирующих друг друга движений и деформаций вращением отдельных участков. Структурная ячейка как комплекс взаимно совместимых структурных парагенезов. Две формы поверхностного горизонтального потока.

4.6. Смена элементарных геодинамических обстановок и наложение соответствующих им структурных парагенезов в процессе тектонического течения. Координаты Эйлера для характеристики поступательного движения и вращения и координаты Лагранжа для характеристики деформации. Роль поступательной компоненты тектонического течения в перемещении элементарных объемов горных пород на участки с иной геодинамической обстановкой. Роль вращательной компоненты тектонического

течения в изменении знака или направления деформации элементарного объема. Последовательное наложение разных структурных парагенезов. Проблема механизма наложения структурных парагенезов.

5. Механизмы пластической деформации на разных структурных уровнях неоднородной геологической среды

5.1. Структурообразование в неоднородной, иерархически построенной геологической среде. Роль неоднородностей геологической среды в протекании динамических процессов. Структурные уровни деформации геологической среды. Концентраторы напряжений разных уровней.

5.2. Атомно-молекулярный подход к изучению деформации твердых тел. Идеальный кристалл. Дефекты реальных кристаллических структур: точечные, линейные, плоскостные. Механизмы пластической деформации (пластичности) кристаллов: диффузия, трансляция, рекристаллизация. Влияние внешних условий деформирования на механизмы пластической деформации кристаллов.

5.3. Деформация с участием флюидов. Механизм компрессионной ползучести: растворение в зонах компрессии, перенос во флюиде и отложение растворенного вещества в зонах декомпрессии. Структуры зон компрессии и декомпрессии. Развитие процесса растворения под давлением во времени. Понятие о закрытых и открытых системах. Изменение объема в процессе деформации. Условия (температура, состав и давление флюида) протекания процесса растворения под давлением. Определение деформационно-химического парагенеза. Скольжение по границам зерен и разжижение.

5.4. Механизмы деформации на уровне агрегатов зерен. Кливаж и борозды нарастания как пример структур, совместно сформировавшихся в неоднородной среде посредством растворения под давлением и отложения растворенного вещества. Особенности компрессионной ползучести при формировании более крупных, чем кливаж, структур (макрокливажных швов, муллион-структур и минеральных жил).

5.5. Механизмы деформации на уровне слоев. Особенности строения геологической среды на уровне слоев. Определение изгиба. Механика изгиба. Продольный изгиб в свободном воздухе. Продольный изгиб в среде, оказывающей сопротивление. Уравнение Био. Особенности изгиба серий слоев с разными свойствами.

5.6. Переход деформации на уровень блоков. Подготовка границ блоков предшествующей деформацией. Механизм деформации на уровне блоков. Иерархичность блокового строения геологической среды. Структурные парагенезы, формирующиеся при перемещении блоков по разрывам.

6. Механизмы зарождения и развития разрывных нарушений в неоднородной геологической среде

6.1. Природа тектонических разрывов. Разрыв как зона резкой локализации деформации. Появление нового уровня структурной организации геологической среды.

6.2. Зарождение разрывов. Три типа дизъюнктивных структур: структуры растяжения, сдвига и сжатия. Причины и механизмы зарождения зон локализованной деформации. Роль неоднородностей среды.

6.3. Развитие разрывов. Преобразование сети разрывов высокого ранга в более крупные разрывы низкого ранга. Развитие сформировавшихся разрывов во времени. Деформационная обстановка появления трещин отрыва и скалывания. Перераспределение напряжений при появлении разрыва. Характеристика локального поля напряжений на концах разрывов и появление трещин второго порядка.

7. Заключение. Теоретический и практический аспекты изучения тектонофизики

7.1. Возможность и методы реконструкции деформаций

7.2. Возможность и методы реконструкции напряжений

7.3. Применение представлений о сдвиговом, надвиговом и сбросовом полях напряжений при реконструкциях

7.4. Положительные и отрицательные аспекты «Метода тектонофаций»

7.5. Применение представлений о грубодискретной квазифрактальности геологической среды при анализе механизмов структурообразования

План проведения семинаров.

1. Тектоническое течение – три смысла термина
2. Измерение деформации. «Процентная» и «кратная» мера, их соотношение, удобство применения той или иной меры. Решение задач.
3. Коэффициент Пуассона. Решение задач.
4. Параметры деформации укорочения-удлинения и соотношения между ними. Эллипсоид и эллипс деформации. Нахождение коэффициента деформации по эллипсу деформации. Решение задач.
5. Отличие чистого и простого сдвига. Параметры простого сдвига. Соотношения между ними. Понятие о соосных и несоосных деформациях. Решение задач.
6. Понятие о напряжении. Решение задач
7. Нормальные и касательные напряжения. Круги Мора. Решение задач.
8. Общее напряжение как сочетание равномерного всестороннего сжатия и девиаторного напряжения. Формулы для трехосного и двухосного напряженного состояния. Решение задач.
9. Упругая деформация. Закон Гука. Решение задач
10. Предел упругости, предел текучести. Рассмотрение диаграмм для идеально пластического тела, деформации с упрочнением и разупрочнением.
11. Релаксация. Время релаксации, его физический смысл. Решение задач.
12. Ползучесть. Диаграмма «время-величина деформации». Диаграмма «напряжение-скорость деформации». Закон вязкого течения. Задание на построение диаграмм для тел с различными деформационными свойствами.
13. Предел прочности. Рассмотрение диаграмм, показывающих деформацию и разрушение горных пород при разных температурах и давлении.
14. Закон Навье-Кулона (Кулона-Мора). Его выражение с помощью кругов Мора.
15. Критерий устойчивости Рэлея. Анализ входящих в него параметров.
16. Методы стрейн-анализа. Решение задач.

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 докладах (с презентацией), при защите рефератов, при контрольном тестировании и контрольных опросах.

Домашние задания и упражнения для самостоятельной подготовки студентов:

Задачи на тему «деформация укорочения-удлинения». 33 штуки.

Задачи на тему «простой сдвиг» 25 штук.

Задачи на закон Гука 4 штуки.

Задачи на тему «напряженное состояние» 20 штук.

Задачи на тему «образование и развитие трещин в условиях чистого сдвига, простого сдвига, трансенсии и транспрессии» 27 штук.

Задачи и задания на тему «деформационные свойства пород» 19 штук.

Всего 128 задач и упражнений.

Рекомендуемые темы рефератов:

Земная кора как механически неоднородная среда.

Тектоническое течение и его компоненты.

Общее напряжение и его компоненты.

Реологические и геометрические типы деформаций горных пород и толщ.
Соотношение пластической и разрывной деформации горных пород и толщ.
Принципы физического моделирования тектонических деформаций.
Деформационные свойства горных пород и толщ.
Неустойчивость пластической деформации однородной среды.
Условия возникновения конвекции.
Элементарные геодинамические обстановки.
Механизмы пластической деформации при разных температурах
Различные виды пределов прочности
Пластичность, ползучесть и вязкое течение
Роль времени в тектонических деформациях
Способы и возможности оценки деформационных свойств горных пород и толщ

Перечень вопросов для текущего контроля успеваемости:

В чем отличие тектонических движений от тектонических деформаций?
Относительность понятия однородности деформации применительно к телам разного масштабного ранга.
Разложение общего напряжения на компоненты и роль каждой из них в процессе деформации элементарного объема.
Отличие релаксации напряжений в теле от его ползучести.
Относительность понятий о пластической и разрывной деформации
Зависимость деформационных свойств геологических тел от их ранга и размера.
Условия возникновения конвекции.
Понятие об элементарных геодинамических обстановках.
Зачем геологам нужно изучать тектонофизику?
Методы тектонофизики. Достаточно ли в тектонофизике использовать теоретические методы физики?
Что может пониматься под «течением»? Приведите, по крайней мере, три толкования этого термина.
Почему в случае малых деформаций удобно использовать «процентную» меру деформации, а в случае больших деформаций – «кратную»?
Какую форму может иметь эллипсоид деформации? Каково соотношение коэффициентов деформации в каждом из этих случаев?
При каком типе деформации главные оси напряжений совпадают с главными осями деформации?
Что такое соосная и несоосная деформация? Покажите на примерах основных типов деформации.
Какой широко распространенный тип деформации относится к неоднородным?
Сила. Давление. Напряжение. Чем отличаются эти понятия?
Может ли какая-либо ориентированная текстура образоваться под действием веса вышележащих толщ горных пород?
В чем состоит отличие деформации простого и чистого сдвига?
Некоторый объем находится в состоянии литостатического давления. Вследствие воздействия тектонических сил он испытал еще и горизонтальное сжатие. Изменится ли литостатическое давление в этом объеме?
Покажите физический смысл модуля Юнга.
Что такое пластическая деформация?
Какова зависимость между напряжением и деформацией в пределах упругости?
Как называется поведение материала, если его остаточная деформация увеличивается с течением времени при постоянном напряжении?
Дайте определение вязкости. На какой диаграмме и как ее можно показать? Изобразите на этой диаграмме поведение двух тел с разной вязкостью.

При каких условиях твердые тела ведут себя подобно вязким жидкостям? Покажите такое поведение на диаграммах $\varepsilon-t$ и $\sigma-\dot{\varepsilon}$.

Что такое «ньютоновская вязкая жидкость»?

Что такое время вязко-упругой релаксации и чему оно может быть равно в геологии?

Что такое угол скалывания? Почему его среднее значение для горных пород равно 30° , а не 45° ? В каких ситуациях это угол приближается к 45° ?

Что такое разрыв?

Как разрывы могут быть ориентированы по отношению к главным осям напряжений?

Что такое хрупкие и вязкие разрывы?

Как прочность материалов зависит от длительности воздействия напряжений и от размеров тела?

Как следует понимать границу между пластической и разрывной деформациями.

При каких условиях мы можем реконструировать ориентировку осей напряжений, зная ориентировку осей деформации?

Перечислите свойства горных пород, которые называют деформационными.

Перечислите параметры, которые характеризуют деформационную обстановку (условия деформации).

Как влияет на деформационные свойства пород флюидное давление?

Покажите на одной из диаграмм, что установившаяся ползучесть аналогична вязкому течению.

Когда мы оцениваем величину деформации некоторого объема известняка по содержащимся в нем членикам криноидей, мы занижаем или завышаем коэффициент деформации? Объясните ответ.

Каков диапазон прочности горных пород? Как он устанавливается? Какие ограничения существуют для использования этих значений?

Ситуации, в которых возникает инверсия плотности.

Неустойчивость Рэлея-Тейлора и неустойчивость, вызванная подогревом снизу. В чем сходство и различие?

В каком из двух видов неустойчивости используется критерий Рэлея. Смысл критерия Рэлея.

К какому из чисел Рэлея сам Рэлей имел непосредственное отношение?

Почему в высокометаморфизованных толщах образуются гранито-гнейсовые купола, а не валы?

Как изменяется число Рэлея при увеличении мощности конвектирующей толщи?

Как изменяется число Рэлея при увеличении вязкости конвектирующей толщи?

Как изменяется число Рэлея при уменьшении ускорения силы тяжести (например, на Луне)?

Как изменяется число Рэлея при увеличении степени инверсии плотности?

При прочих равных условиях где больше вероятность начала конвекции – на Земле или на Луне?

Как изменяется число Рэлея при увеличении температуропроводности конвектирующей толщи?

Как изменяется число Рэлея при увеличении удельной теплопроводности конвектирующей толщи

Выше какого значения числа Рэлея начинается конвекция в толще при подогреве снизу?

В каком диапазоне числа Рэлея начинается конвекция в форме линейно вытянутых валов и впадин в толще при подогреве снизу?

При какой степени регионального метаморфизма (умеренной или повышенной) толщи в ней при подогреве снизу возникает линейная складчатость?

В какой однородной по плотности осадочной толще при подогреве снизу возникает инверсия плотности, достаточная для возбуждения конвекции в толще – избыточно обводненной или не содержащей флюидов?

Какая алгебраическая величина деформации обозначает укорочение +50% или -50%?
 Отношение приращения длины отрезка при его деформации к его первоначальной длине является процентной или кратной мерой деформации?
 Отношение длины отрезка при его деформации к его первоначальной длине является процентной или кратной мерой деформации?
 Физический смысл времени релаксации
 Какое значение вязкости реально для осадочных пород: 10^2 , 10^4 , 10^7 , 10^{12} , 10^{18} , 10^{21} .
 В чем состоит отличие деформации простого и чистого сдвига?
 Какие из множителей подобия по порядку величины близки к единице и поэтому могут быть проигнорированы при физическом моделировании природных деформаций?
 Какова наиболее реальная величина всестороннего давления на подошве земной коры в платформенных областях?
 Какова зависимость между напряжением и деформацией в пределах упругости?
 Как разрывы могут быть ориентированы по отношению к главным осям напряжений?
 При каких условиях мы можем реконструировать ориентировку осей напряжений, зная ориентировку осей деформации?
 Размерность коэффициента деформации
 Покажите физический смысл модуля Юнга
 При каких условиях твердые тела ведут себя подобно вязким жидкостям?
 На какой диаграмме (в каких координатах) можно показать такое свойство горных пород, как вязкость?
 При каком типе деформации главные оси напряжений совпадают с главными осями деформации?
 Сила. Давление. Напряжение. Чем отличаются эти понятия?
 Каков диапазон прочности горных пород?
 Флюидное давление увеличивает или уменьшает предел прочности?
 Изменится ли величина литостатического давления, если к некоторому объему горных пород приложить тектонические усилия?

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной очной аттестации (экзамене):

1. Структурные уровни деформации геологической среды.
2. Определение деформации, ее размерность и единицы измерения.
3. Деформация простого и чистого сдвига: определение, параметры, ориентировка осей деформации и напряжения.
4. Соотношение нормального и касательного напряжений в случае одноосного напряженного состояния
5. Двухосное и трехосное напряженное состояние. Ориентировка плоскостей максимальных касательных напряжений. Выражения для нормальных и касательных напряжений, действующих на наклонную площадку, в случае двухосного напряженного состояния.
6. Роль девиаторных напряжений в деформации элементарных объемов геологической среды. Формулы для вычисления девиаторных напряжений.
7. Отличие пластического и вязкого течения. Как то и другое выглядит на диаграммах?
8. Закон вязкого течения. Формула, график на диаграмме. При каких условиях он применим для горных пород?
9. Ориентировка трещин отрыва и скалывания по отношению к осям главных нормальных напряжений. Причины несовпадения ориентировки трещин скалывания с плоскостями максимальных касательных напряжений.
10. Понятие о стрейн-анализе. Его простейшие виды. Реконструкция величины деформации по включениям, первоначальная форма которых известна.

11. Влияние параметров окружающей среды на деформационные свойства пород.
12. Роль флюидов в деформации горных пород.
13. Два типа конвекции в земной коре. Их причины и следствия.
14. Дефекты реальных кристаллических структур.
15. Механизмы пластической деформации кристаллов и влияние на них внешних условий.
16. Механизм компрессионной ползучести и создаваемые с его помощью структуры.
17. Определение и механизм образования кливажа.
18. Возможные механизмы формирования сланцеватости и полосчатости
19. Теоретические и экспериментальные исследования образования складок продольного изгиба (одиночный слой в среде с иной вязкостью). Уравнение Био.
20. Четыре типа складок продольного укорочения (в многослойной среде) и механизмы их формирования.
21. Причины и типы асимметрии складок.
22. Дисгармония складчатой структуры и ее причины.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине (экзамен).

| Результаты обучения, соответствующие виды оценочных средств | «Неудовлетворительно» | «Удовлетворительно» | «Хорошо» | «Отлично» |
|--|--|--|---|--|
| Знания (устный опрос, письменный опрос): особенностей деформируемой геологогеологической среды; основ механики деформаций и разрушения твердых тел; взаимоотношений напряжений и деформаций (реологии); механизмов тектонических деформаций разных рангов; влияния силы тяжести на тектонические деформации | Ничтожные знания о геологической среде, об основах механики деформаций и разрушения твердых тел, о реологии, механизмах тектонических деформаций разных рангов | Фрагментарные знания о геологической среде, об основах механики деформаций и разрушения твердых тел, о реологии, механизмах тектонических деформаций разных рангов | Общие, но не структурированные знания о геологической среде, об основах механики деформаций и разрушения твердых тел, о реологии, механизмах тектонических деформаций разных рангов | Систематические знания о геологической среде, об основах механики деформаций и разрушения твердых тел, о реологии, механизмах тектонических деформаций разных рангов |
| Умения (устный опрос, письменный опрос): различать основные типы деформаций, | Отсутствует умение различать основные типы деформаций, выделять структурные уровни | Частичное умение различать основные типы деформаций, выделять структурные уровни | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение различать основные типы деформаций, | Безошибочное умение различать основные типы деформаций, выделять структурные уровни |

| | | | | |
|---|--|--|--|--|
| <p>выделять структурные уровни деформации; определять тип напряженного состояния при формировании природных структур; различать механизмы пластической деформации в зависимости от ранга деформируемого тела; учитывать изменчивость деформационных свойств горных пород и толщ при разных значениях «внешних» параметров</p> | <p>деформации; определять тип напряженного состояния; различать механизмы пластической деформации разных уровней; учитывать изменчивость деформационных свойств горных пород</p> | <p>деформации; определять тип напряженного состояния; различать механизмы пластической деформации разных уровней; учитывать изменчивость деформационных свойств горных пород</p> | <p>выделять структурные уровни деформации; определять тип напряженного состояния; различать механизмы пластической деформации разных уровней; учитывать изменчивость деформационных свойств горных пород</p> | <p>деформации; определять тип напряженного состояния; различать механизмы пластической деформации разных уровней; учитывать изменчивость деформационных свойств горных пород</p> |
| <p>Владения (устный опрос, решение задач и выполнение заданий в письменном виде): навыками интерпретации простейших природных структурных парагенезов как индикаторов деформаций и напряжений, рядом методов реконструкции тектонических деформаций и напряжений, тектонофизической терминологией</p> | <p>Владение навыками интерпретации и реконструкции простейших структурных форм и их парагенезов отсутствует</p> | <p>Фрагментарное владение методами интерпретации и реконструкции простейших структурных форм и их парагенезов</p> | <p>В целом сформированные навыки и реконструкции простейших структурных форм и их парагенезов, имеются отдельные пробелы</p> | <p>Навыки интерпретации и реконструкции простейших структурных форм и их парагенезов сформированы в полной мере</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. (Библиотеке и БУПе МГУ, а также в электронном виде <https://www.geokniga.org/books/8286>)

- дополнительная литература:

1. Белоусов В.В. Структурная геология. 3-е изд. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 244 с. Имеется в библиотеке МГУ
2. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: Наука, 1975. 536 с. Имеется в библиотеке МГУ
3. Кирмасов А.Б. Основы структурного анализа. М.: Научный мир, 2011. 368 с. Имеется в электронном виде https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-kirmasovabosnovystruktturnogoanaliza_0.pdf
4. Николая А. Основы деформации горных пород. М.: Мир, 1992. 164 с. Кафедральный фонд
5. Спенсер Э.У. Введение в структурную геологию. Л.: Недра, 1981. 229 с. Имеется в электронном виде <https://www.geokniga.org/books/16455>
6. Эз В.В. Складкообразование в земной коре. М.: Недра, 1985. 191 с. Кафедральный фонд
7. Davis G.H., Reynolds S.J., Kluth C. Structural geology of rocks and regions. 3rd edition. New York: John Wiley & Sons, 2012. 839 p. Кафедральный фонд
8. Fossen H. Structural Geology. Cambridge University Press, 2010. 463 p Кафедральный фонд
9. Ramsay J.G., Huber M.I. The techniques of modern structural geology. Vol.2. Folds and Fractures. London: New York: Acad. Press, 2006. 405 p. Имеется в электронном виде <https://www.geokniga.org/books/23048>

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

Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- поисковая система научной информации www.scopus.com

- электронная база научных публикаций www.webofscience.com

Д) Материально-технического обеспечение:

Учебная аудитория с мультимедийным проектором

9. Язык преподавания – русский.

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

11. Разработчики программы: вед.н.с. Фролова Н.С.