

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

УТВЕРЖДАЮ

и.о. декана Геологического факультета

чл.-корр. РАН _____/Н.Н.Ерёмин/

«__» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Основы тектонофизики

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 – дать студентам теоретическую основу для освоения тектонофизики - науки о разноранговых напряжениях и деформациях в земной коре и механизмах структурообразования.

Задачи: освоение студентами представлений о напряжениях, деформациях, их взаимосвязи, о закономерностях разрушения тел, о свойствах геологической среды и особенностях деформационных процессов, происходящих на разных структурных уровнях, о возможностях интерпретации деформационных структур для реконструкции деформаций и напряжений.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Дисциплина «Основы тектонофизики» содержит несколько базовых разделов тектонофизики. Дается представление о деформациях, напряжениях и их взаимосвязи (элементы реологии), о деформационных свойствах пород и их зависимости от параметров окружающей среды. Анализируются возможные индикаторы соосной и несоосной деформации. Затем рассматриваются простейшие элементы механики горных пород: механизмы хрупкой деформации, прочность и разрушение, теория Мора, роль флюидного давления. Дается понятие о механизмах пластической деформации кристаллов, а затем о механизмах формирования структур на уровне слоев, толщ и блоков. Показывается влияние силы тяжести на деформации в земной коре, обращается внимание на компенсационный характер тектонического течения.

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: что такое деформация и напряжение; каковы их взаимоотношения; типы реакции горных пород на нагрузку, деформационные свойства пород и их зависимость от параметров среды; типы трещин, их ориентировку относительно осей напряжений; механизм формирования структур, образующихся на разных структурных уровнях геологической среды и в разных механических обстановках; влияние силы тяжести на тектонические деформации. Уметь: различать соосные и несоосные деформации; находить величину деформации, ориентировку осей деформации и напряжений по индикаторам в простейших случаях; отличать хрупкое,

		пластическое и вязкое течение; реконструировать в простейших случаях ориентировку осей напряжений с использованием трещин; определять направление сдвига по индикаторам несоосной деформации.
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: терминологией, применяемой в таком разделе геологии, как тектонофизика, навыками работы с литературой по тектонофизике, простейшими методами интерпретации природных деформационных структур.

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. Деформация	9	2		1	3			6		6
Раздел 2. Напряжения	8	4		2	6	2				2
Раздел 3. Реология	8	4		2	6	2				2
Раздел 4. Хрупкая деформация и трещины	9	4		2	6	3				3
Раздел 5. Деформация на разных структурных уровнях геологической среды	11	4		2	6				5	5
Раздел 6. Зоны несоосной деформации. милониты	8	4		2	6	2				2
Раздел 7. Влияние силы тяжести на тектонические деформации	6	4		2	6					
Раздел 8. Заключение	3	2		1	3					
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	10	<i>Устный экзамен</i>				10				
Итого	72	42				30				

Содержание лекций, семинаров

Деформация

Определение; компоненты деформации; однородные и неоднородные деформации; математическое описание деформации; одномерные деформации; двумерные деформации; трехмерные деформации; эллипсоид деформации; изменение объема при деформации; деформация, одинаковая по всем осям (уплотнение); чистый сдвиг и соосная деформация; понятие о прогрессивной деформации; поле скоростей; соосность и прогрессивный простой сдвиг; прогрессивный чистый сдвиг; общая трехмерная деформация; деформация в горных породах.

Напряжения

Определение, размерность и единицы измерения; напряжение в точке на площадке; касательные и нормальные напряжения; компоненты напряжения; общее и девиаторное напряжение; круги и диаграммы Мора; напряжения в литосфере; классификация тектонических напряжений Андерсона.

Реология

Идеальные модели поведения материалов в изотропной среде; упругие материалы; нелинейная упругость. Коэффициент Пуассона; вязкое течение; пластическая деформация; комбинированные модели; экспериментальные данные: деформация горных пород при разном литостатическом давлении и температуре; реология в литосфере.

Хрупкая деформация и трещины

Механизмы хрупкой деформации; типы трещин: трещины растяжения, трещины скалывания; разрушение и критерии образования трещин; критерий Кулона (Навье-Кулона, Кулона-Мора); теория разрушения Гриффитса; рост и морфология трещин; окончания трещин; роль флюидного давления в образовании трещин

Структурные уровни деформации

Деформации на микромасштабном уровне; внутрислойные деформации; деформации на уровне пачки слоев; деформации на уровне толщ; переход деформации с уровня на уровень.

Зоны несоосной деформации и милониты

Кинематическая классификация

Хрупкие и вязкие зоны сдвига и формирующиеся в них структуры

Кинематические индикаторы в милонитах

Влияние силы тяжести на тектонические деформации

Инверсия плотности в земной коре, ее причины и следствия

Виды конвекции

Структурные формы, вызванные конвективными движениями

Компенсационная организация тектонического течения

Заключение

Роль тектонофизики в решении теоретических и практических задач геологии

Возможные подходы к изучению деформаций структурно-неоднородных сред

Ранговый анализ как инструмент изучения деформационных структур

Содержание семинаров.

1. Измерение деформации. «Процентная» и «кратная» мера, их соотношение, удобство применения той или иной меры. Решение задач.

2. Коэффициент Пуассона. Решение задач.

3. Параметры деформации укорочения-удлинения и соотношения между ними. Эллипсоид и эллипс деформации. Нахождение коэффициента деформации по эллипсу деформации. Решение задач.

4. Отличие чистого и простого сдвига. Параметры простого сдвига. Соотношения между ними. Понятие о соосных и несоосных деформациях. Решение задач.
5. Понятие о напряжении. Решение задач
6. Нормальные и касательные напряжения. Круги Мора. Решение задач.
7. Общее напряжение как сочетание равномерного всестороннего сжатия и девиаторного напряжения. Формулы для трехосного и двухосного напряженного состояния. Решение задач.
8. Упругая деформация. Закон Гука. Решение задач
9. Предел упругости, предел текучести. Рассмотрение диаграмм для идеально пластического тела, деформации с упрочнением и разупрочнением.
10. Релаксация. Время релаксации, его физический смысл. Решение задач.
11. Ползучесть. Диаграмма «время-величина деформации». Диаграмма «напряжение-скорость деформации». Закон вязкого течения. Задание на построение диаграмм для тел с различными деформационными свойствами.
12. Предел прочности. Рассмотрение диаграмм, показывающих деформацию и разрушение горных пород при разных температурах и давлении.
13. Закон Навье-Кулона (Кулона-Мора). Его выражение с помощью кругов Мора.
14. Индикаторы зон сдвига. Решение задач
15. Структуры несоосной деформации в милонитах. Решение задач
16. Критерий устойчивости Рэлея. Анализ входящих в него параметров.
17. Обсуждение сложных проблем тектонофизики

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.

В течение преподавания курса «Основы тектонофизики» в качестве форм текущего контроля успеваемости студентов используются такие формы, как заслушивание и оценка доклада по теме реферата, собеседование при приеме результатов практических работ с оценкой, устные опросы и письменные контрольные.

Домашние задания и упражнения для самостоятельной подготовки студентов:

Студентам предлагается решить ряд задач на следующие темы: измерение деформаций, нахождение коэффициента деформации по включениям, форма которых известна, нахождение углов и длин отрезков при деформации чистого и простого сдвига, определения величины и направления сдвига по индикаторам в зонах несоосной деформации, вычисление значений девиаторных напряжений и главных касательных напряжений при трехосном и плоском общем напряженном состоянии, построение кругов Мора, образование и развитие трещин в условиях чистого сдвига, простого сдвига, трансенсии и транспрессии, выполнить задания по анализу и построению диаграмм для различного реологического поведения горных пород.

Рекомендуемые темы рефератов:

1. В каких случаях можно реконструировать напряжения.
2. Как можно трактовать понятие «разрыв» в неоднородной среде.
3. Тип деформации, промежуточный между чистым и простым сдвигом.
4. Комбинированные модели реологического поведения горных пород.
5. Реология литосферы.
6. Эксперименты по деформации горных пород при разном литостатическом давлении, температуре, скорости деформации – что они дают для понимания деформационных процессов в природе.
7. Механизмы хрупкой деформации. Что такое катакластическое течение.

8. Механизм формирования «трещин», стенки которых движутся навстречу друг другу.
9. Что такое полосы деформации и как они образуются.
10. Все ли материалы «текут» и с чем связано текучее поведение. Природные примеры.
11. Способы определения напряжений в земной коре.
12. Роль флюидов в тектонических деформациях.
13. Оценки вязкости разных объемов земной коры.
14. Длительность тектонических деформаций.
15. Компенсационный характер тектонического течения в земной коре независимо от его причин.

Перечень вопросов для текущего контроля успеваемости:

1. Различие понятий стрейна и стресса.
2. Что происходит с элементарным объемом тела при деформации (здесь деформация понимается в широком смысле)?
3. Деформация и стрейн – одно и то же или нет?
4. В каких двух значениях используется термин «деформация» в отечественной геологической литературе?
5. Найдите первоначальный диаметр и коэффициент деформации по деформированному оолиту.
6. Перечислите возможные маркеры деформации, которые можно использовать для определения величины деформации.
7. Что такое прогрессивная деформация?
8. Когда употребляется понятие логарифмической деформации?
9. Каково соотношение коэффициентов деформации и относительной вязкости двух пород?
10. Покажите неоднородность поля деформаций в каком-либо объеме горных пород на конкретном примере.
11. Покажите на любом примере наличие разных механических обстановок на разных структурных уровнях геологической среды.
12. Различие понятий дилатации и дилатансии.
13. Причины дилатансии.
14. Назовите не менее трех толкований термина «течение» в тектонике, структурной геологии и тектонофизике.
15. Чем отличается внутреннее и внешнее вращение при деформации?
16. Дайте определение чистого сдвига. Почему он называется «чистым»?
17. В чем сходство и различие деформации простого и чистого сдвига?
18. Может ли простой сдвиг быть трехмерной деформацией?
19. Нарисуйте возможные формы эллипсоида деформации при трехмерной и плоской деформации.
20. Что такое коаксиальная и некоаксиальная деформация?
21. В каких случаях можно реконструировать ориентировку напряжений по деформированным телам?
22. Что такое subsimple shear?
23. Нарисуйте траектории движения частиц при деформации простого и чистого сдвига.
24. Что является универсальным индикатором зон простого сдвига?
25. Покажите соотношение угла поворота жесткого включения в зоне сдвига и амплитуды сдвига.
26. Покажите с помощью серии рисунков наличие внешнего вращения в зоне сдвига.
27. Существует ли прямая зависимость деформации от величины напряжения в случае пластической (в широком смысле) деформации?
28. Какие напряжения ответственны за изменение формы тела?

29. Что такое дифференциальный стресс?
30. Какие значения может принимать модуль Юнга в горных породах?
31. Почему на диаграмме Мора фигурирует двойной угол ϕ ?
32. Покажите на диаграмме Мора литостатическое напряжение и одноосное напряжение.
33. Что происходит в теле, если на него действует литостатическое давление?
34. Физическая сущность эффекта Ребиндера.
35. Высокое литостатическое давление препятствует образованию трещин. Почему же на значительной глубине трещины все же развиваются?
36. Почему предел прочности реальных пород в эксперименте на порядки меньше теоретического?
37. Поясните понятия «угол скалывания» и «угол внутреннего трения».
38. Как предел прочности зависит от времени?
39. Типичная скорость деформации в природе.
40. Что такое эффективная вязкость?
41. Почему закон вязкого течения Ньютона можно использовать для описания деформаций горных пород?
42. Могут ли слои в полуконсолидированном состоянии (soft sediments) образовать такие же структурные формы, как и консолидированные?
43. Могут ли одновременно формирующиеся трещины пересекаться?

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (экзамене):

1. Компоненты деформации.
2. Различные меры деформации и их отношения.
3. Доказать, что оси напряжений при деформации простого сдвига всегда ориентированы под углом 45° к направлению сдвига.
4. Принцип построения кругов и диаграмм Мора. Изображение разных типов напряженного состояния с помощью кругов Мора.
5. Физический смысл уравнения Навье-Кулона и его изображение с помощью кругов Мора.
6. Три типа трещин в горных породах, которые можно выделить по взаимному перемещению стенок (безотносительно ориентировки в пространстве). Как они ориентированы по отношению к осям напряжений. В каких условиях образуются.
7. Выведите формулу для нахождения нормальных и касательных напряжений на площадке, наклоненной под углом ϕ к оси растяжения (одноосная деформация).
8. Причины наличия высокого флюидного давления в земной коре. Структурные следствия
9. Классификация тектонических напряжений Андерсона. Сфера ее применения.
10. Покажите на диаграммах линейную упругость, линейную вязкость и пластичность (с упрочнением и без).
11. Сжимаемые и несжимаемые материалы. Коэффициент Пуассона.
12. Ньютоновские вязкие жидкости и закон вязкого течения. Почему этот закон употребляется и для горных пород.
13. Покажите влияние всестороннего давления, температуры и скорости деформации на деформационные свойства горных пород (по результатам экспериментов).
14. Перечислите и нарисуйте механизмы хрупкой деформации. Где и когда она осуществляется.
15. Покажите, что не существует границы между разрывной и пластической деформацией.

16. Объясните все параметры, входящие в критерий Навье-Кулона. Покажите его на диаграммах.
17. Покажите роль микродефектов в образовании трещин.
18. Активная и пассивная роль силы тяжести в тектонических деформациях.
19. Неизбежность компенсационной организации тектонического течения в земной коре.
20. Ячейка компенсационной организации, ее характеристика по разным параметрам.

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

Результаты обучения, соответствующие оценочным средствам	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания (устный опрос, письменный опрос): основных сведений о деформациях, напряжениях и их взаимоотношениях, типов реакции горных пород на нагрузку, деформационных свойств пород, типов трещин, разрывов и условий их формирования, механизмов образования деформационных структур	Знания базовых основ тектонофизики практически отсутствуют	Фрагментарные знания базовых основ тектонофизики	Хорошие, но с небольшими пробелами знания базовых основ тектонофизики	Систематические знания базовых основ тектонофизики
Умения (устный опрос, письменный опрос): применять базовые основы тектонофизики для определения типов деформации, ориентировки осей деформации и напряжений, условий деформации в простейших случаях	Отсутствует умение применять базовые основы тектонофизики для решения простейших задач реконструкции деформаций, напряжений и обстановки структурообразования	Отчасти сформированное умение применять базовые основы тектонофизики для решения простейших задач реконструкции деформаций, напряжений и обстановки структурообразования	Сформированное, но с небольшими пробелами умение применять базовые основы тектонофизики для решения простейших задач реконструкции деформаций, напряжений и обстановки структурообразования	Успешное умение применять базовые основы тектонофизики для решения простейших задач реконструкции деформаций, напряжений и обстановки структурообразования

<p>Владение (устный опрос, выполнение заданий в письменном виде): тектонофизической терминологией, навыками работы с литературой по тектонофизике, простейшими методами интерпретации несложных природных деформационных структур</p>	<p>Отсутствуют навыки владения тектонофизической терминологией, простейшими методами интерпретации природных деформационных структур</p>	<p>Частичное владение тектонофизической терминологией, простейшими методами интерпретации природных деформационных структур</p>	<p>Сформированное владение тектонофизической терминологией, простейшими методами интерпретации природных деформационных структур. Имеются небольшие пробелы.</p>	<p>Успешное владение тектонофизической терминологией, простейшими методами интерпретации природных деформационных структур</p>
---	--	---	--	--

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

1. Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику. М.: Книжный дом «Университет», 2005. 496 с. (Имеется в библиотеке и БУПе МГУ, а также в электронном виде <https://www.geokniga.org/books/8286>)
2. Кирмасов А.Б. Основы структурного анализа. М.: Научный мир, 2011. 368 с. (Имеется в электронном виде https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-kirmasovabosnovystrukturnogoanaliza_0.pdf)

- 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. Никола А. Основы деформации горных пород. М.: Мир, 1992. 164 с. (Кафедральный фонд)
3. Спенсер Э.У. Введение в структурную геологию. Л.: Недра, 1981. 229 с. (Имеется в электронном виде <https://www.geokniga.org/books/16455>)
4. Файф У., Прайс Н., Томпсон А. Флюиды в земной коре. М.: Мир, 1981. 436 с. (Имеется в электронном виде <https://www.geokniga.org/books/9098>)
5. Ферхуген Дж., Тернер Ф., Вейс Л. и др. Земля. Введение в общую геологию. Т. 2 // М.: Мир, 1974. 845 с. (Имеется в электронном виде <https://www.geokniga.org/books/5401>)
6. Эз В.В. Складкообразование в земной коре. М.: Недра, 1985. 191 с. (Кафедральный фонд)
7. Davis G.H., Reynolds S.J. Structural geology of rocks and regions. 2nd edition. New York: John Wiley & Sons, 1996. 776 p. (Кафедральный фонд)
8. Fossen H. Structural Geology. Cambridge University Press, 2010. 463 p. (Кафедральный фонд)

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.