

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 (дополнительные главы)

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 тектонофизики структурированной среды для понимания деформационных процессов разного масштабного уровня, происходящих в земной коре и возможности использования природных структур для реконструкции тектонических деформаций.

Задачи: Освоение подхода к изучению пластической и разрывной деформации в структурно-неоднородных средах.

Приобретение знаний о механизмах деформации наиболее распространенных структурных форм разного ранга: зернового уровня, уровня слоев, блоков и т.п.

Выработка навыков интерпретации природных структур и их парагенезов как индикаторов величины и ориентировки деформации, обстановки деформации и истории развития этих структур.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Дисциплина «Тектонофизика (дополнительные главы)» состоит из трех частей. В первой дается понятие о неоднородной, грубодискретно-квазифрактальной, геологической среде и излагаются подходы к изучению деформационных процессов в ней. Во второй части освещаются принципы реконструкции и анализа тектонических деформаций и напряжений, методы стрейн-анализа. Третья часть посвящена изучению механизмов формирования структур разных уровней организации геологической среды: малых структурных форм, складок, надвигов, зон сдвигов, областей растяжения. Показывается возможность использования этих структур как индикаторов параметров и условий деформации.

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», «Тектонофизика».

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 деформационного процесса в грубодискретно-квазифрактальной геологической среде, механизмы формирования деформационных структур и текстур разного масштаба: малых структурных форм, складок и ансамблей складок, структур в обстановке простого сдвига, покровов, структур в зонах растяжения, теоретические основы реконструкции тектонических деформаций и напряжений. Уметь: учитывать роль неоднородностей разного ранга и типа в деформационном процессе; выделять различные механические (геодинамические) обстановки на разных структурных уровнях

		деформируемой геологической среды; понимать физические, химические, механические процессы, происходящие при формировании тех или иных деформационных структур разного масштаба; представлять изменение поля напряжений при постепенном развитии деформационного процесса; учитывать роль времени в тектонических деформациях; оценивать роль флюидов в деформационных процессах; различать структурные парагенезы ранних и поздних стадий развития сдвиговых зон, областей горизонтального сжатия, растяжения; оценивать возможности и ограничения методов стрейн-анализа, понимать их сущность и уметь пользоваться простейшими из них.
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 реконструкции тектонических деформаций, некоторыми методами стрейн-анализа

4. Объем дисциплины (модуля) составляет **2** з.е., в том числе **22** академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (11 часов лекции и 11 часов семинары), **50** 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. Реконструкция тектонических деформаций и напряжений	8	2		2	4	4				4
Раздел 2. Механизм формирования малых структурных форм	9	2		2	4				5	5
Раздел 3. Механизм формирования складок и ансамблей складок	6	1		1	2	4				4
Раздел 4. Механизм формирования структур в зонах сдвига	8	2		2	4	4				4
Раздел 5. Механизм формирования структур в зонах трансенсии и транспресии	8	1		1	2				6	6
Раздел 6. Механизм формирования покровов и сопутствующих им структур	6	1		1	2	4				4
Раздел 7. Механизм формирования	5	1		1	2	3				3

структур в зонах растяжения										
Раздел 8. Заключение	10	1		1	2			10		10
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	10	<i>Устный экзамен</i>				10				
Итого	72	22				50				

Содержание лекций, семинаров

Содержание лекций

1. Реконструкция тектонических деформаций и напряжений

1.1. 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.

1.2. Методы стрейн-анализа, применяемые к деформированным объектам разного масштаба. Внутрислойные деформации: изучение структур вращения; статистический метод Фрая; полуколичественные методы оценки деформации в кливажированных породах; измерение деформации по включениям, первоначальная форма которых известна; метод R_f/σ_f . Деформации слоев горных пород. Деформации пачек слоев горных пород. Деформации слоистых толщ. Деформации массивов горных пород.

1.3. Поля деформаций разного ранга. Поле деформаций складчатой толщи. Поле деформаций отдельной складки. Поле деформаций осадочного ритма на крыле складки.

1.4. Приблизительная количественная оценка деформаций и напряжений. Понятие о стрейн-фациях («тектонофациях») и полуколичественная оценка деформаций. Понятие о стресс-фациях и качественная оценка величины напряжений. Количественная оценка величины напряжений в простейших случаях.

2. Механизмы формирования малых структурных форм

2.1. Типы и роль малых структурных форм. Классификация малых структурных форм. Структурный уровень деформации. Возможные механизмы и время образования структур уровня зерен и агрегатов зерен. Понятие о проникающих и не проникающих структурах (текстурах). Участие сформировавшихся на ранних стадиях проникающих текстур в дальнейшем деформационном процессе. Малые структурные формы как индикатор условий деформации.

2.2. Сланцеватость (СЦ). Определение. Понятие о кристаллизационной СЦ. Различие между кливажем и СЦ. Происхождение СЦ. Ориентировка СЦ по отношению к слоистости и складчатой структуре.

2.3. Кливаж. История развития представлений о кливаже. Межзерновой кливаж. Особенности деформационной среды на уровне зерен. Кливаж под микроскопом. Состав швов. РТ-условия образования кливажа. Механизм образования. Понятие о компрессионной ползучести. Пространственные и временные соотношения кливажа и складок. Роль кливажа в складкообразовании. Кливаж плейчатости. Обстановка формирования. Морфология. Механизм образования. Кливаж плейчатости как индикатор этапов деформации.

2.4. Стиллиты. Определение. Морфология. Состав швов. Обстановка и механизм формирования. Стиллиты как динамический индикатор

2.5. Полосчатость. Определение. Соотношения со сланцеватостью и складками. Метаморфические условия формирования. Пять возможных механизмов образования полосчатости.

2.6. Минеральная линейность. Определение. Причины формирования. Расположение в складках. Линейность как динамический индикатор

2.7. Структуры тыльных частей зерен и включений. Связь с неоднородностями уровня зерен и агрегатов зерен. Понятие о тенях давления и причины их возникновения. Типы структур тыльных частей зерен и включений: тени деформации (тени давления), бороды нарастания (каймы давления), псевдобороды нарастания (бороды нарастания фрагментации).

2.8. Бороды нарастания. Морфология бород нарастания и их классификация. Минеральное выполнение. Бороды нарастания как отражение прогрессивной деформации и метаморфических условий. Механизм образования. Бороды нарастания как

кинематический индикатор. Совместное нахождение кливажа и бород нарастания: признаки парагенетической связи.

2.9. Макрокливажные швы. Морфология. Состав швов. Связь концентраторов напряжений с вещественными (уровня агрегатов зерен) и структурными неоднородностями. Механизм образования.

2.10. Муллион-структуры (МС). Определение, морфология и классификация МС. Состав и строение муллионных швов. Вещественные и структурные неоднородности, по которым развиваются швы. Механизм формирования МС. Диапазон метаморфических условий формирования МС. Расположение МС в складках. МС как индикатор условий их образования.

2.11 Минеральные жилы. Процессы, в результате которых образуются минеральные жилы. Классификация жил. Определение ориентировки удлинения по волокнистым жилам, а также соосности или несоосности деформации. Состав волокнистых жил. Жилы как индикатор геохимической специализации флюида. Жилы синтаксиальные и антаксиальные. Роль отжига при формировании жил. Трудности в определении характера деформации по жилам.

2.12. Малые структурные формы как члены деформационно-химических парагенезов. Структурные формы зон компрессии (структуры растворения). Структурные формы зон декомпрессии (структуры отложения). Сочетание названных структурных форм в пространстве. Особенности деформационно-химических парагенезов в разных метаморфических условиях и механических обстановках.

3. Механизм формирования складок и ансамблей складок

3.1. Изгиб в слоистой среде. Изгиб одиночного слоя. Особенности изгиба серии слоев.

3.2. Концентрические складки. Определение. Особенности. Механизм образования. Предел распространения. Свойства пачек, в которых развиты концентрические складки. Поле деформаций в концентрических складках.

3.3. Подобные складки. Определение. Особенности. Механизм образования. Условия формирования и распространение. Свойства пачек, в которых развиты подобные складки. Поле деформаций в подобных складках

3.4. Однородная деформация при складкообразовании. Однородная деформация и ее структурное выражение на первой (начальной) стадии складкообразования. Однородная деформация и ее структурное выражение на третьей стадии складкообразования (после формирования складок). Три стадии складкообразования. Влияние свойств среды на наличие тех или иных стадий. Развитие деформационных структур на каждой стадии. Однородная деформация на стадии изгиба.

3.5. Складки, подобные по ритму, тип А. Определение и особенности складок. Свойства деформируемой среды. Механизм образования. Деформация вязких слоев. Деформация маловязких слоев. Поведение деформационных текстур.

3.6. Складки, подобные по ритму, тип Б. Определение и характерные черты этих складок. Деформационные свойства слоистой пачки. Механизм образования. Процессы, происходящие на каждой из стадий в вязких и маловязких слоях.

3.7. Особенности складчатой структуры в толщах слоев. Понятие о дисгармонии складчатых тощ. Ее причины. Диктующие (доминантные) слои и пачки. Поверхности раздела дисгармонии, зоны дисгармонии и зоны срыва.

3.8. Величина деформации при образовании складок продольного укорочения. Ограничение метода непосредственного «распрямления» слоев, смятых в складки. Причины ошибок при реконструкциях додеформационного состояния складчатых разрезов. Методики оценки величины продольного укорочения слоев, смятых в складки. Поправка Дж. Рэмси. Кинематическая модель Ф.Л. Яковлева. Определение величины укорочения складчатых толщ по методике Ф.Л. Яковлева.

3.9. Кливажно-складчатые парагенезы. Доказательства парагенетической связи кливажа и складок. Схема формирования кливажно-складчатых парагенезов. Образование

и развитие структур на каждой из стадий складкообразования. Расположение кливажа в слоях и складках. Преломление и хорда кливажа

3.10. Переход деформации на уровень блоков. Причины такого перехода. Подготовка границ блоков предшествующей деформацией. Геодинамическая обстановка и последовательность формирования парагенеза складки-надвиги

3.11. Дизъюнктивы сжатия. Структурная приуроченность и размеры. Внутреннее строение. Механизм образования. Обстановка образования. Дизъюнктивы сжатия как потенциальные границы блоков.

4. Механизмы формирования структур в обстановке простого сдвига

4.1. Деформация простого сдвига и ее особенности. Ориентировка осей напряжений и деформации в зоне сдвига. Простой сдвиг как несоосная деформация.

4.2. Формирование трещин в зоне сдвига. Трещины отрыва и скалывания (сколы Риделя) и условия их образования. Ориентировка трещин по отношению к осям напряжений и направлению сдвига. Эшелонированное расположение трещин. Угол скалывания, его значение и зависимость от деформационной обстановки. Уравнение Кулона.

4.3. Развитие трещин в зоне сдвига во времени. Формирование макросколов из микротрещин. Поворот трещин. Причины доминирования R-сколов.

4.4. Типы сдвиговых зон по характеру напряженного состояния. Однородный сдвиг и характерные для него структуры. Сдвиги с неоднородным напряженным состоянием по латерали или вертикали. Сдвиг с неоднородным как по латерали, так и по вертикали напряженным состоянием (зона сдвига Риделя).

4.5. Зона сдвига Риделя. Модель такой зоны. Широкое распространение сдвигов этого типа. Ранги разрывов, формирующихся в зоне сдвига. Понятие об опережающих, оперяющих и сопутствующих разрывах. Последовательное развитие разных типов разрывов (R, R', P, X, L) по мере увеличения амплитуды разрыва в фундаменте. Формирование магистрального разрыва. 4 стадии формирования сдвиговой зоны. Зона динамического влияния разрыва в фундаменте и ее развитие во времени.

4.6. Складки в зоне сдвига Риделя. Два типа складок. Вытянутые складки с осями, перпендикулярными оси главного сжимающего напряжения, и условия их образования. Брахискладки между смежными концами R-сколов и причины их формирования.

4.7. Механизм формирования цветковых структур в зонах сдвига. Сложное поле напряжений в зонах сдвига Риделя. Трехмерная конфигурация разрывов. Форма разрывов в разных сечениях сдвиговой зоны. Кинематика разрывов.

4.8. Классификация зон сдвига в зависимости от характера деформации. Хрупкие, хрупко-вязкие и вязкие зоны сдвига. Структурные парагенезы, формирующиеся в каждом из этих типов зон. Определение направления сдвига по малым структурным формам.

4.9 Преобразование ранних структур в зонах сдвига. Образование асимметричных складок или разлинзование слоев и минеральных жил (в зависимости от их ориентировки) в зоне сдвига. Поворот будин в зоне сдвига. S-C структуры. Два пути их формирования. Определение направления сдвига по этим структурам.

4.10. Структуры, связанные с порфиробластами и порфирокластами. Каймы давления (бороды нарастания) в условиях несоосной деформации. Определение направления и величины сдвига по бородам нарастания. Порфиробласты со спиральными включениями (структура снежного кома) в зонах несоосной деформации. Определение направления и величины сдвига по структурам снежного кома. Тени давления порфирокластов как индикатор несоосной деформации: δ -структуры, σ -структуры.

4.11. Специфика минеральных жил в зонах сдвига. Волокнистые минеральные жилы как индикатор несоосной деформации. Определение направления сдвига по минеральным жилам. Трудности такого определения.

5. Механизм формирования структур в зонах транспрессии и транстенсии

- 5.1. Структурные парагенезы, возникающие в обстановке транстенсии.** Модели с одинаковой по всей длине сдвига обстановкой. Модели с геометрией stepover
- 5.2. Характерные черты структурного парагенеза, формирующегося в обстановке транстенсии.** Структуры pull-apart. Условия образования. Характерные черты
- 5.3. Структурные парагенезы, возникающие в обстановке транспрессии.** Модели с одинаковой по всей длине сдвига обстановкой. Модели с геометрией stepover.
- 5.4. Характерные черты структурного парагенеза, формирующегося в обстановке транспрессии.** Структуры Pop-up.
- 5.5. Отличительные признаки цветковых структур** в условиях простого сдвига, транстенсии, транспрессии и причины такого различия.

6. Механизм формирования покровов и сопутствующих им структур

- 6.1. Роль и классификация покровов.** Покровы-складки и покровы-пластины. Расположение покровов в структуре подвижных поясов.
- 6.2. Строение покровов-пластин.** Характеристика комплексов, слагающих покровы-пластины. Основные черты структуры покровов-пластин. Время формирования покровов-пластин по отношению к складкообразованию. Ступенчатый профиль поверхности сместителя покровов: чередование послойных срывов и смыкающих надвигов. Существование базальной поверхности срыва.
- 6.3. Условия формирования покровов-пластин.** Геодинамическая обстановка: сочетание горизонтального сжатия с однородным горизонтальным простым сдвигом. Роль деформационной среды и роль жесткого основания в доминирующем развитии срывов и надвигов.
- 6.4. Кинематика движения покровов-пластин.** Заложение основных надвиговых структур на ранней стадии деформационного цикла. Движение покровов (шарьяжей) по лестничной траектории. Поэтапное развитие надвигов. Развитие надвиговых деформаций от тыла к фронту шарьяжной системы.
- 6.5. Кинематика образования связанных с надвигами складок.** Наднадвиговые и принадвиговые складки. Их геометрические и кинематические модели. Структуры, возникающие при последовательном движении по нескольким надвигам.
- 6.6. Моделирование шарьяжей.** Структуры шарьяжного парагенеза в физических моделях. Принципы кинематического моделирования шарьяжей. Компьютерная кинематическая модель. Сбалансированные разрезы через складчато-покровные области и принципы их построения.

7. Механизм формирования структур в зонах растяжения

- 7.1. Представление о геодинамической обстановке растяжения.** Ориентировка напряжений. Механическая обстановка растяжения. Структуры низшего и высшего ранга, формирующиеся при растяжении.
- 7.2. Развитие структур, возникающих в идеальной модели растяжения и их характеристика.** Усложнение этих структур в случае трехосного напряженного состояния и наличия неоднородностей деформируемой среды.
- 7.3. Системы сбросов.** Главные и второстепенные разрывы.
- 7.4. Структуры второго порядка,** связанные с изогнутой конфигурацией поверхности сместителя. Механизм их образования.
- 7.5. Зоны срыва** в областях растяжения
- 7.6. Дуплексы растяжения**
- 7.7. Сдвиги** в областях растяжения

8. Заключение

- 8.1. Роль тектонофизики** в решении задач структурной геологии, геокартирования, поиска полезных ископаемых, прогноза землетрясений, геотектоники и геодинамики.
- 8.2. Некоторые распространенные ошибки при интерпретации тектонических структур.**

План проведения семинаров

1. Решение простейших задач по реконструкции деформаций (элементы стрейн-анализа). Обсуждение методов реконструкции напряжений.
2. Выполнение заданий по описанию и интерпретации малых структурных форм. Решение задач по реконструкции деформаций с помощью малых структурных форм.
3. Обсуждение методик Дж. Рэмси и Ф.Л. Яковлева для определения величины укорочения складок и ансамблей складок.
4. Выполнение заданий по интерпретации структурных парагенезов сдвиговых зон на графических материалах.
5. Сравнение структурных парагенезов простого сдвига, транспрессии и транстенсии. Оpozнание этих структурных парагенезов на графических материалах.
6. Методы балансирования разрезов складчато-покровных областей – вручную и на компьютере
7. Интерпретация различных зон растяжения на графических материалах
8. Обсуждение практической пользы изучения структурных парагенезов

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 для самостоятельной подготовки студентов:

Решение обратных задач тектонофизики и структурной геологии методами стрейн-анализа.

Малые структурные формы как индикаторы несоосной деформации (определение факта существования обстановки простого сдвига, его направления и величины).

Определение величины продольного укорочения складчатых толщ.

Изучение изображений природных зон простого сдвига, транстенсии и транспрессии, определение опережающих и опережающих разрывов, анализ структурного парагенеза.

Рекомендуемые темы докладов, рефератов:

1. Отличие реконструкции деформаций от реконструкции напряжений.
2. Значение количественной оценки деформаций горных пород и толщ.
2. Структурные уровни деформации геологической среды
3. Квазифрактальность геологической среды
4. Сравнительные достоинства и недостатки методов стрейн-анализа: статистического метода Фрая и метода R_f/σ_f .
5. Использование данных о внутрислойных деформациях для оценки величины деформации более крупных объемов.
6. Определение эллипса деформации с использованием кругов Мора
7. Поля деформаций разных рангов на примере конкретных структур
8. Возможности оценки величины палеонапряжений
9. Малые структурные формы как индикаторы условий деформации
10. Сравнительный анализ и основы классификации складок Дж. Рэмзи и В.В. Эза.
11. Теоретические основы кинематической модели формирования складок Ф.Л. Яковлева
12. Сравнительная характеристика условий формирования преимущественно складчатых и преимущественно надвиговых структур в сходных геодинамических обстановках.
13. Обстановки существования однородного и неоднородного простого сдвигов в природе и отличие формирующихся в них структурных парагенезов.

Перечень вопросов для текущего контроля успеваемости

1. Что такое «обратные задачи» в геологии?
2. Всегда ли можно реконструировать напряжения?
3. Специфика геологической среды, которую надо учитывать при реконструкции деформаций и напряжений.
4. Основные методы стрейн-анализа, применяемые к деформированным объектам разного масштаба.
5. Определение деформации по включениям, первоначальная форма которых известна
6. По каким малым структурным формам можно определить направление и величину б
7. Критический анализ «метода тектонофаций».
8. Отличие механизмов формирования кливажа и сланцеватости.
9. Что такое компрессионная ползучесть и почему она так называется.
10. Генетической или парагенетической является связь между складками и кливажем?
11. Какова роль кливажа в деформационных процессах более низкого структурного уровня?
12. С какими структурами могут находиться в парагенетической связи стилолитовые швы?
13. Метаморфические условия, в которых возможно формирование кливажа.
14. Минеральные жилы как индикатор геохимической специализации флюида.
15. В каких случаях можно определить синтаксиальный или антитаксиальный рост минеральных жил?
16. В каких условия осуществляется продольное, а в каких поперечное разлинзование слоев.
17. Масштабы перемещения вещества при процессах растворения под давлением.
18. В каких механизмах деформации большую роль играют флюиды
19. Как изучение малых структурных форм может помочь в понимании структурно-метаморфической эволюции складчатых толщ?
20. Чем борозды нарастания (каймы давления) отличаются от псевдоборозд нарастания (борозд нарастания фрагментации)?
21. Борозды нарастания как индикатор прогрессивной деформации и метаморфической обстановки.
22. Определение направления сдвига по бороздам нарастания (с рассмотрением синтаксиального и антитаксиального роста)
23. Определение величины деформации укорочения по структурам ложного сдвига.
24. Примеры сочетания структурных формы зон компрессии и декомпрессии в пространстве.
25. С неоднородностями какого ранга и типа связано образование муллион-структур?
27. Существуют ли складки скалывания и откуда взялось представление о них?
28. Причины формирования мелких складок, осложняющих более крупные.
29. Что понимают под складками течения и какой механизм кладут в основу их формирования. Верны ли эти представления?
30. Могут ли существовать строго подобные складки?
31. Насколько широко распространены подобные складки?
32. Что накладывает ограничения на предел распространения концентрических складок?
33. Какие складки являются наиболее распространенными и почему?
34. Назовите все возможные механизмы формирования складок.
35. Что такое хорда кливажа?
36. Известна ориентировка кливажа в одном из слоев осадочного ритма. Как определить его ориентировку в смежных слоях?
37. Как по соотношению мощностей слоев на крыле и в замке складки определить тип складки и механизм ее формирования?

38. Как по соотношению мощностей слоев на крыле и в замке оценить относительную вязкость слоев?
30. Что можно сказать об относительной эффективной вязкости слоев по наличию и характеру преломления кливажа в складке?
31. Влияние свойств среды на наличие тех или иных стадий складкообразования.
32. Какие структуры более высокого ранга, чем складки, возникают на каждой из трех стадий складкообразования?
33. Где и почему осуществляется простой сдвиг при образовании складок?
34. Почему стадия изгиба сменяется стадией общего сплющивания?
35. Могут ли концентрические складки на стадии общего сплющивания стать подобными?
36. Какие индикаторы могут свидетельствовать о том, что величина горизонтального укорочения пачки слоев существенно больше той, которая вычисляется путем непосредственного «распрямления» слоев?
37. Сущность «поправки Рэмзи».
38. Причины дисгармонии складок.
39. Виды границ между единицами, находящимися в дисгармоничных соотношениях.
40. Причины перехода деформации на уровень блоков.
41. Какими процессами подготавливаются границы блоков?
42. К каким ошибочным представлениям о складчатой структуре может привести развитие «осевых швов» в складчатой толще?
43. Деформируется толща, в которой имеются сингенетичные брекчии. К какому структурному результату это может привести?
44. Существуют ли складки, в формировании которых не принимает участие деформация изгиба?
45. Роль компрессионной ползучести в структурообразовании.
46. Различие парагенезов складки-надвиگی и надвиگی-складки.
47. Причины ступенчатой траектории поверхности сместителя в складчато-покровных областях.
48. Что является более важным фактором формирования покровов-пластин — характер разреза или наличие жесткого основания?
49. Могут ли наднадвиговые складки быть асимметричными
- Какова причина увеличения углов наклона (более, чем 30° - 40°) крыльев наднадвиговых складок?
- Главные принципы кинематического моделирования парагенеза надвиگی-складки.
50. Что такое сбалансированный разрез?
51. Будут ли отличаться структуры, сформировавшиеся в результате надвигания и пододвигания?
52. В чем отличие сосной и несоосной деформации?
53. Что такое внутреннее и внешнее вращение при деформации?
54. Как ведут себя жесткие включения в зонах сдвига?
55. Как определить величину сдвига по структуре снежного кома в гранате?
56. Отличие до-, син-, и посткинематических порфиробластов.
57. Как ведут себя тени давления порфирокластов в зонах сдвига?
58. Характер структур, сформированных ранней сланцеватостью в зависимости от ее ориентировки относительно направления сдвига.
59. Обязательные и необязательные члены структурного парагенеза сдвиговых зон Риделя.
60. Почему сколы R и R' надо называть опережающими, а не оперяющими?
61. Причины преобладания сколов R над сколами R' в зонах сдвига.
62. Возможные причины отклонения R'-сколов от их теоретической ориентировки.
63. Равномерно ли распределяются сколы R и R' вдоль зоны сдвига?
64. Почему сколы R' часто имеют S-образную форму?

65. Отличие структурного парагенеза зон однородного и неоднородного сдвига.
66. Происходит ли уменьшение или увеличение ширины сдвиговой зоны при перемещении по сколовым трещинам?
67. К каким зонам сдвига можно применять понятие «зона динамического влияния разлома»?
68. Какие процессы происходят в зоне динамического влияния разлома?
69. Общее представление о поле напряжений в зоне простого неоднородного сдвига в трехмерном пространстве.
70. Какую форму в объеме имеют сколы Риделя в зонах однородного и неоднородного сдвигов?
71. Какова кинематика сколов Риделя в зонах неоднородного сдвига?
72. Можно ли найти цветковые структуры в зонах однородного простого сдвига?
73. В любых ли вертикальных сечениях через зону сдвига можно обнаружить цветковые структуры?
74. Какие свойства среды благоприятны для формирования складок в зоне сдвига?
75. Почему трещины скалывания в зонах сдвига не совпадают с ориентировкой плоскостей максимальных касательных напряжений?
76. От каких параметров больше всего зависит значение угла скалывания?

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (экзамене):

1. История и развитие представлений о структурных парагенезах. Роль и задачи структурно-парагенетического анализа. Прямые и обратные задачи структурной геологии.
2. Особенности геологической среды. Понятие о структурных уровнях организации элементов. Представление о концентраторах напряжений
3. Что входит в понятие деформационной обстановки. Как она влияет на деформационный процесс. Различные пути деформации в зависимости от условий деформирования.
4. Возможные подходы к определению структурных парагенезов. Самый распространенный из них
5. Главные (элементарные) геодинамические обстановки. Принцип выделения этих обстановок. Краткая характеристика обстановок. Сочетание обстановок. Изменение обстановок во времени
6. Структурные парагенезы разных масштабов
7. Понятие «разрыв» в неоднородной геологической среде. Относительность разделения деформаций на связные и разрывные
8. Перераспределение напряжений в деформируемой среде
9. Возможные подходы к классификации структурных парагенезов. Независимость и частичная зависимость отдельных классификационных признаков
10. Трудность решения обратных задач с помощью структурно-парагенетического анализа
11. Понятие о простом сдвиге как о типе деформации. Характеристика и особенности этой деформации. Ее параметры.
12. Типы сдвигов по характеру начального напряженного состояния
13. Однородный простой сдвиг (скашивание). Характерные структуры, их развитие и ориентировка.
14. Вращение сколов Риделя R и R' . Его причины и следствия.
15. Модель латерально-неоднородного плоского простого сдвига. Распределение напряжений. Характерные структуры и их развитие.
16. Модель неоднородного по латерали и глубине простого сдвига (зона сдвига Риделя). Структурный парагенез, характерный для этого типа сдвига

17. Развитие сколов Риделя во времени и пространстве при неоднородном сдвиге (зона сдвига Риделя). Их ориентировка на поверхности и в объеме.
18. 4 стадии формирования разломной зоны (зона сдвига Риделя). Структурный парагенез каждой стадии.
19. Три ранга разрывов, формирующихся в зоне динамического влияния разлома.
20. Опережающие и опережающие разрывы в зоне сдвига
21. Динамика развития области активного динамического влияния разлома в случае неоднородного простого сдвига
22. Отличие структурных парагенезов однородного и неоднородного простого сдвига
23. Геометрия опережающих разрывов на глубине. Геликоидальная форма сколов Риделя. Причины формирования цветковых структур в зонах сдвига.
24. Эшелонированные складки продольного укорочения в зонах сдвига. Условия их формирования
25. Эшелонированные валообразные поднятия (роп-ур типа) в зонах сдвига
26. Отличие структурных парагенезов сдвиговых зон в разной среде
27. Дуплексные структуры в зонах сдвига. Дуплексы, образующиеся при развитии прямолинейной сдвиговой зоны. Дуплексы, образующиеся при развитии криволинейной или ступенчатой сдвиговой зоны.
28. . Поле напряжений на концах сдвигов. Структуры, характерные для окончаний сдвигов
29. Структурные парагенезы, возникающие в обстановке трансенсии. Модели с одинаковой по всей длине сдвига обстановкой.
30. Структурные парагенезы, возникающие в обстановке трансенсии. Модели с геометрией stepover
31. Характерные черты структурного парагенеза, формирующегося в обстановке трансенсии
32. Структуры pull-apart. Условия образования. Характерные черты
33. Структурные парагенезы, возникающие в обстановке транспрессии. Модели с одинаковой по всей длине сдвига обстановкой.
34. Структурные парагенезы, возникающие в обстановке транспрессии. Модели с геометрией stepover
35. Характерные черты структурного парагенеза, формирующегося в обстановке транспрессии
36. Отличительные признаки цветковых структур в условиях простого сдвига, трансенсии, транспрессии и причины такого различия
37. Понятие о зонах сдвига (shear zones). Типы таких зон
38. Структурные парагенезы хрупких зон сдвига. Определение направления сдвига по малым структурным формам (МСФ)
39. Структурные парагенезы хрупко-вязких зон сдвига. Определение направления сдвига по МСФ. Примеры структур, одновременно формирующихся в полях напряжений разного ранга
40. Структурные парагенезы вязких зон сдвига. Определение направления сдвига по МСФ
41. Складки и будинаж в зонах сдвига
42. S-C структуры в зонах сдвига. Два пути их формирования. Определение направления сдвига
43. Каймы давления (бороды нарастания) в условиях несоосной деформации. Определение направления и величины сдвига по бородам нарастания
44. Порфиробласты со спиральными включениями (структура снежного кома) в зонах несоосной деформации. Определение направления и величины сдвига по структурам снежного кома
45. Тени давления порфирокластов как индикатор несоосной деформации: δ -структуры, σ -структуры

46. Волокнистые минеральные жилы как индикатор несоосной деформации
47. Слюдяные пакеты как индикатор несоосной деформации
48. Структурный парагенез стадии начального однородного укорочения.
49. Структурный парагенез стадии изгиба.
50. Структурный парагенез стадии завершающего однородного укорочения.
51. Структурный парагенез уровня зерен и агрегатов зерен.
52. Структурный парагенез уровня слоя.
53. Структурный парагенез уровня пачки слоев.
54. Структурный парагенез уровня толщ.
55. Структурный парагенез складки-надвиги
56. Понятие о складчато-надвиговых областях (fold-thrust belts). Их отличие от надвигово-складчатых
57. Главные типы покровов: покровы-складки и покровы-пластины. Расположение в более крупной структуре
58. Условия формирования покровов-пластин: роль деформационной среды и роль жесткого основания
59. Закономерности движения покровов-пластин, «кинематические правила»
60. Кинематика образования связанных с надвигами складок
61. Структурный парагенез надвиги-складки
62. Формирование дуплексов при последовательном движении по нескольким надвигам. Морфология возникающих структур.
63. Типы шарьяжных систем. Чешуйчатые веера. Дуплексы. Треугольные зоны. Закономерности их формирования
64. Принципы кинематического моделирования шарьяжей
65. Сочетание покровов-пластин с другими структурными формами
66. Геодинамическая обстановка формирования покровов-пластин
67. Представление о геодинамической обстановке растяжения. Ориентировка напряжений. Механическая обстановка растяжения. Структуры низшего и высшего ранга, формирующиеся при растяжении.
68. Развитие структур, возникающих в идеальной модели растяжения и их характеристика. Усложнение этих структур в случае трехосного напряженного состояния и наличия неоднородностей деформируемой среды.
69. Морфологическая характеристика природных сбросов. Сбросы в плане и разрезе. Системы сбросов. Главные и второстепенные разрывы.
70. Структуры второго порядка, связанные с изогнутой конфигурацией поверхности сместителя. Механизм их образования.
71. Зоны срыва в областях растяжения
72. Дуплексы растяжения
73. Сдвиги в областях растяжения
74. Способы, которыми может реализоваться удлинение слоистых толщ. Где таковое осуществляется в природе.
75. Характеристика сбросов, связанных со сдвигами
76. Характеристика сбросов, связанных с соляными куполами и сводовыми поднятиями

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

Результаты обучения, соответствующие виды оценочных средств	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания (устный опрос,	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания деформационных процес-	Общие, но не структурированные знания	В полном объеме знания деформацион-

<p>письменный опрос): особенностей деформационного процесса в геологической среде; механизмов формирования деформационных структур и текстур разного масштаба в разных геодинамических (механических) обстановках; теоретических основ реконструкции тектонических деформаций и напряжений</p>		<p>сов; механизмов формирования структур и текстур разного масштаба в разных геодинамических обстановках; основ реконструкции тектонических деформаций и напряжений</p>	<p>деформационных процессов; механизмов формирования структур и текстур разного масштаба в разных геодинамических обстановках; основ реконструкции тектонических деформаций и напряжений</p>	<p>ных процессов; механизмов формирования деформационных структур и текстур разного масштаба в разных геодинамических обстановках; основ реконструкции тектонических деформаций и напряжений.</p>
<p>Умение (устный опрос, выполнение заданий): выделять структурные парагенезы, формирующиеся на разных структурных уровнях геологической среды, на разных стадиях деформационного процесса и в разной геодинамической (механической) обстановке; понимать физические, химические, механические процессы, приводящие к формированию структур разного масштаба; оценивать возможности методов</p>	<p>Умения отсутствуют</p>	<p>Несистематическое умение распознавать и анализировать структурные парагенезы разных рангов и обстановок</p>	<p>Успешное, но с некоторыми пробелами умение распознавать и анализировать структурные парагенезы разных рангов и обстановок</p>	<p>Умение распознавать и анализировать структурные парагенезы разных рангов и обстановок на высоком уровне</p>

стрейн-анализа				
Владение (устный опрос, решение задач): методами реконструкции тектонических деформаций, некоторыми методами стрейн-анализа.	Владение методами отсутствует	Фрагментарное владение методами реконструкции тектонических деформаций и стрейн-анализа	Сформированное владение методами реконструкции тектонических деформаций и стрейн-анализа но с отдельными пробелами	Успешное владение методами реконструкции тектонических деформаций и стрейн-анализа

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: (до 10 наименований)

Белоусов В.В. Структурная геология. 3-е изд. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 244 с. (Имеется в библиотеке МГУ)

Лукьянов А.В. Пластическая деформация и тектоническое течение в литосфере. М.: Наука, 1991. 144 с. (Имеется в электронном виде)

http://www.ginras.ru/library/pdf/460_1991_lukyanov_plasticheskie_deformacii.pdf

Николя А. Основы деформации горных пород. М.: Мир, 1992. 164 с. (Кафедральный фонд)

Проконьев Ф.В., Фридовский В.Ю., Гайдук В.В. Разломы: (Морфология, геометрия и кинематика): Учеб. Пособие. Якутск: ЯФ Изд-ва СО РАН, 2004. 148 стр. (Имеется в электронном виде <https://www.geokniga.org/books/16443>)

Семинский К.Ж. Внутренняя структура континентальных разломных зон.

Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал «Гео». 2003. 244 с. (Кафедральный фонд)

Спенсер Э.У. Введение в структурную геологию. Л.: Недра, 1981. 367 с. (Имеется в электронном виде <https://www.geokniga.org/books/16455>)

Blenkinsop T. Deformation Microstructures and Mechanisms in Minerals and Rocks Kluwer Academic Publishers 2002. 150 p. (Имеется в электронном виде:

https://www.researchgate.net/publication/321568666_Deformation_Microstructures_and_Mechanisms_in_Minerals_and_Rocks)

Davis G.H., Kluth C.F., Reynolds S.J. Structural geology of rocks and regions. John Wiley & Sons INC. 2011. 860 p. (Имеется в электронном виде:

<https://www.geokniga.org/books/23018>)

Fossen H. Structural Geology. Cambridge University Press, 2010. 463 p. (Кафедральный фонд)

Ramsay J.G., Huber M.I. The techniques of modern structural geology. Vol.2. Folds and Fractures. London: New York: Acad. Press, 1987. 700 p. . (Имеется в электронном виде <https://www.geokniga.org/books/23048>)

Vernon R. H. A practical guide to rock microstructure. Cambridge University Press. 2004. 650 p. (Имеется в электронном виде:

https://www.researchgate.net/publication/49184508_A_Practical_Guide_to_Rock_Microstructur

е)

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-техническое 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.