

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Геолого-географический факультет

УТВЕРЖДАЮ
Декан геолого-географического
факультета



П.А. Тишин

«26» мая 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

Структурный анализ

по направлению подготовки **05.03.01 Геология**

Направленность (профиль) подготовки / специализация:
«Геология»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2021

Код дисциплины в учебном плане: Б1.О.39

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.В. Бухарова

Председатель УМК

 М.А. Каширо

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач;

ОПК-2. Способен использовать знание теоретических основ фундаментальных геологических дисциплин при решении задач профессиональной деятельности;

2. Задачи освоения дисциплины

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИУК-1.3. Выявляет соотношение части и целого, их взаимосвязь, а также взаимоподчиненность элементов системы в ходе решения поставленной задачи

ИОПК 2.2. Анализирует и систематизирует геологические объекты в структурах разного порядка.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 обязательной части образовательной программы. Б1.О.39

4. Семестр освоения и форма промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр седьмой, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины. Постреквизиты

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Геокартирование, Структурная геология.

Освоение дисциплины необходимо для успешной реализации следующих курсов: Геостатистика и математическое моделирование геологических объектов и процессов, а также дает компетенции, необходимые для освоения программ последующего уровня образования

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

– лекции: 22 ч.;

– практические занятия (в том числе, практическая подготовка) 28 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

8.1 Введение

Содержание и план курса. Структурные формы, этапы их изучения: морфологический, кинематический, динамический анализы. Масштабы геологических тел (субмикроскопический, микро-, мезо-, макроскопический), методы структурных исследований применительно к каждому из масштабов.

Связь структурной геологии с другими геологическими дисциплинами: геологическим картированием, геотектоникой, петрологией, учением о месторождениях полезных ископаемых, поисково-разведочным делом, гидрогеологией, инженерной геологией и др.

Конвергенция признаков и ее значение в структурной геологии.

История развития структурной геологии. Основные современные направления в структурной геологии: геометрический анализ разномасштабных структур, микроструктурный анализ, стрейн-анализ, экспериментальные исследования, моделирование тектонических структур, тектонофациальный анализ и др. Обзор основной литературы.

8.2 Методы обработки структурно-геологических данных

Азимутальные проекции (стереографическая и равноплощадная), их применение в структурной геологии. Координаты плоскостных и линейных структурных элементов.

Обработка массовых структурно-геологических замеров: диаграммы в прямоугольных координатах (гистограммы), розы-диаграммы, точечные круговые диаграммы. Круговые диаграммы в изолиниях: нанесение замеров, подсчет плотности распределения точек на сетке Шмидта (метод Шмидта, сетка Платцера) и на сетке Вульфа (планисфера Пронина), нанесение изолиний, оформление диаграмм.

Повороты структурных элементов и диаграмм: правила поворота, основные случаи поворота диаграмм (поворот из горизонтального положения в вертикальное, приведение вертикальных диаграмм в вертикальное положение другого простирания), преобразование диаграмм, построенных в проекции с нижней полусферы, и наоборот. Сложение диаграмм.

8.3 Признаки первичных форм залегания слоистых горных пород

Признаки почвы и кровли пласта в осадочных породах. Знаки на поверхности наслоения. Вертикальные изменения в слоях обломочных пород. Структуры подводного оползания. Косая слоистость и методы ее изучения: полевые наблюдения, лабораторная обработка, корректировка залегания за наклон пласта с помощью сетки Вульфа.

Ориентировка уплощенных и удлиненных галек конгломератов и методы ее изучения: полевые наблюдения, лабораторная обработка (построение гистограмм, точечных круговых диаграмм, корректировка залегания с помощью сетки Вульфа). Знаки ряби и методы их изучения: полевые наблюдения, лабораторная обработка.

Признаки почвы и кровли в вулканогенных породах. Строение поверхности и основания потоков, изменения структуры пород в разрезе потока. Типы отдельности пород. Миндалины, их строение и методы изучения. Подушечные и шаровые лавы.

Признаки почвы и кровли в метаморфических породах. Проявления первичной слоистости.

8.4 Основы теории деформации геологических тел

Основные определения: деформация, односторонние и ориентированные силы (сжимающие, растягивающие, пара сил), всестороннее или гидростатическое давление; напряжение, стресс.

Виды деформаций: деформации упругие, пластические, разрывные. Закон Гука. Комплексность природных деформаций. Экспериментальное изучение деформаций. Графики напряжение-деформация. "Полный" график на примере одноосного растяжения стержня из мягкой стали. Критические точки: предел пропорциональности, предел упругости, предел пластичности, упрочение и предел прочности, деформационное ослабление, конечная прочность и разрушение. Кривая упругого гистерезиса при многократных нагрузках и разгрузках. Подразделение пород по характеру кривых деформации - породы хрупкие и податливые, компетентные и некомпетентные.

Механизм упругой деформации. Механизм пластической деформации: межзерновые движения; внутризерновые деформации - трансляции и двойникование; дефекты кристаллических решеток (точечные дефекты и линейные дислокации), механизм трансляции; ламинарное скольжение; массовое минералообразование в соответствии с условиями тем-пературы и давления (неокристаллизация, или кристаллобластез); рекристаллизация первичная, собирательная, вторичная, характер

изменения физико-механических свойств горных пород при рекристаллизации. Ползучесть и релаксация. Механизм разрывной деформации. Отрыв. Скалывание.

Однородные и неоднородные деформации. Нормальные и касательные напряжения при однородной деформации. Круговые диаграммы Мора, их применение. Виды напряженного состояния: объемное (трехосное), плоское (двухосное), линейное (одноосное). Эллипсоид деформации. Соотношение между внешними силами, напряжением и деформацией. Чистый сдвиг. Простой сдвиг.

Определение ориентировки эллипсоида деформации (стрейн-анализ). Ориентировка плоскостей скалывания относительно главных осей эллипсоида деформации в зависимости от пластичности пород. Квадранты сжатия и растяжения. Основные методы стрейн-анализа: реконструкция осей напряжения и деформации по трещиноватости горных пород; анализ структур кинкбенд; анализ неравномерных включений; анализ точечных маркеров, деформированных палеонтологических остатков; анализ микроструктурных ориентировок минералов. Оценка величины деформации. Траектории осей напряжений.

Неоднородные деформации и причины их возникновения. Эндогенно-неоднородные деформации. Экзогенно-неоднородные деформации.

Физико-механические свойства горных пород в зависимости от способов деформации, фактора времени, температуры, гидростатического давления, наличия растворов, паров, флюидной фазы. Изменение соотношений между всесторонним (гидростатическим) давлением и стрессом с глубиной.

Экспериментальная тектоника. Принцип подобия. Примеры моделирования складчатых и дизъюнктивных структурных форм. Моделирование тектонических полей напряжений с помощью поляризационно-оптического метода и его применение при решении задач тектоники и тектонофизики.

8.5 Трещиноватость в горных породах (разрывы без смещения)

Делимость и трещиноватость. Основные определения. Тектонические трещины и делимость: соотношение между тектоническими трещинами и главными осями напряжения и деформации; характеристика трещин отрыва и трещин скалывания. Трещиноватость, связанная со складчатостью (кливаж). Три генетические типа кливажа: кливаж разлома, кливаж скалывания, кливаж течения; их характеристика.

Нетектонические трещины. Первичные трещины в осадочных и эффузивных породах. Трещины выветривания. Трещины оползней, обвалов, провалов. Трещины расширения горных пород при разгрузке.

Полевые наблюдения над делимостью и трещиноватостью. Лабораторная обработка материалов по трещинной тектонике. Диаграммы трещиноватости.

Линейность. Система петроструктурных осей a , b , c . Типы линейности. Первичная линейность в магматических и осадочных породах. Вторичная линейность в осадочных, магматических и метаморфических породах: линейность течения, вращения, пересечения плоскостей и др. Полевые наблюдения. Лабораторные исследования. Анализ линейности с помощью стереографической сетки: корректировка замеров пласта за наклон пласта, определение линейности по замерам на непараллельных сечениях, составление диаграмм.

8.6 Складчатые формы залегания слоев

Проблема образования складок. Геометрические элементы и параметры складок. Морфологические классификации: по ориентировке крыльев и осевой плоскости, изменению первоначальной мощности слоев, отношению высоты к радиусу, форме складок в плане, видам шарниров, геометрии поверхности (складки цилиндрические и конические), виду осевой поверхности, по ориентировке осевой плоскости и шарнира. Симметрия складок. Геологические ассоциации кливажа. Кливаж осевой плоскости.

Кливаж межслоевого скольжения. Слоевой кливаж. Синхронный структурный парагенезис. Использование кливажа при расшифровке складок. Геометрический анализ складок с помощью стереограмм. Диаграммы полюсов слоистости. Цилиндрические

складки и их диаграммы. Отражение морфологии складок на стереограммах. Определение шарнира и осевой плоскости цилиндрических складок. Диаграммы бета-пересечений. Конические складки и их элементы. Шарниры серии нецилиндрических складок. Выделение гомогенных доменов. Анализ структурных данных на площади.

Механизм образования элементарных складок. Складки изгиба с концентрическим скольжением - первый вид параллельной складчатости. Складки скалывания (ламинарного течения) - первый вид подобной складчатости. Складки послыного течения - параллельная складчатость второго вида и подобная складчатость второго вида. Диapiroвые складки; характер разрывных и складчатых дислокаций. Штапковые платформенные складки. Ориентировка главных осей деформации А, В, С при разных видах складчатости.

Геометрический анализ складчатых комплексов. Дисгармоничная складчатость. Складки волочения, их типы, методы изучения, геологическое значение. Блокированные складки. Антиклинории и синклинории, изучение ориентировки осевых плоскостей мелких складок.

Изоклиальная складчатость, ее диагностика и методы изучения. Определение зеркала сложного слоя. Тектоническое разлинзование.

Будинаж. Условия образования, морфология структур будинаж, классификация их плоскостных и объемных форм. Ориентировка структур будинаж в складках, роль в локализации оруденения. Геометрии будин как показатель направления тектонического движения. Полевое и лабораторное изучение структур будинаж.

Муллион-структуры, их морфология, условия образования, локализация в складчатых структурах. Наложение складок разных направлений. Признаки одно-, двух- и трехфазной складчатости. Методика "снятия" складчатости. Специфика терминологии. Синформные и антиформные структуры.

Нетектонические складчатые структуры. Ледниковые дислокации. Загибы слоев по склону. Выжимание и деформация пластичных пород из-под водоразделов. Структуры подводного оползания.

8.7 Структурный анализ разрывных нарушений

Важнейшие признаки дизъюнктивов. Поверхностные и глубинные разрывные нарушения: хрупкие, хрупко-пластичные, пластичные (вязкие). Зоны смятия. Тектонические брекчии, катаклазиты, зоны милонитизации. Тектонический меланж.

Соотношение сместителя и оперяющих трещин скалывания и отрыва. Геометрический анализ.

Определение направления смещения: макро-, мезо- и микромасштабные признаки. Разновидности штрихов и борозд скольжения, их особенности. Складки волочения, линзы скольжения, подвороты пластов. Структуры кинкбэнд, кренуляционный кливаж, S-C-тектониты. Геометрический анализ мезо- и микромасштабных форм. Деформация маркеров известной исходной формы (оолитов, галек конгломератов, изометричных кварцевых агрегатов, окаменелостей и пр.). Асимметрия порфиробластических систем и др.

8.8 Структурный анализ магматических тел

Признаки направления течения в эффузивных породах: линейная ориентировка минералов, газовых пустот и миндалин, ранее остывших обломков лавы или обломков чужеродных пород; линейная ориентировка, возникшая в результате растяжения линзовидных обособлений (фьямме) в игнимбритах; линейно-плоскостные текстуры; асимметричные микроскладки около фенокристаллов эффузивов и др.

Структурный анализ интрузивных массивов. Прото- и эпитектонические структуры. Прототектоника жидкой фазы: план-параллельная ориентировка, линейно-параллельная ориентировка, их взаимоотношения. Первичная кристаллизационная полосчатость. Краевые гнейсы.

Прототектоника твердой фазы. Системы трещин: пластовые, поперечные, продольные, диагональные трещины, краевые взбросы и надвиги прототектонического этапа, нормальные сбросы в куполах интрузивов. Структурный блок.

8.9 Некоторые особые структурные формы

Инъективные тела, их признаки и классификация.

Хаотические структуры. Меланж осадочный, меланж смешанный, их соотношение с тектоническим меланжем. Олиостромы, олистолиты. Погребенные аллювиальные образования. Рифы.

Диагностика порфиробластов и порфирокластов, конгломератов и псевдоконгломератов. Структуры включения в до-, син- и посткинematических порфиробластах. Признаки вращения порфиробластов.

Способы определения величины деформации.

8.10 Краткие сведения о микроструктурном анализе

Анизотропия внутреннего строения горных пород, причины ее возникновения. Типы ориентировки минералов. Полевые наблюдения, отбор ориентированных образцов.

Лабораторные исследования. Вопросы, решаемые с помощью микроструктурного анализа.

Темы практических занятий

1. Типы азимутальных проекций: равноугольная (стереографическая), равноплощадная (эквивалентная) и их свойства.

2. Работа на сетке Вульфа и сетке Шмидта. Основные задачи.

3. Повороты структурных элементов и структурных диаграмм, осуществляемые на сетках Вульфа и Шмидта.

4. Определение геометрических элементов пласта.

5. Изучение складчатых структур. Определение геометрических параметров складки. «Снятие» складчатости.

6. Изучение трещиноватости. Реконструкция осей эллипсоида деформации.

7. Составление диаграмм трещиноватости.

8. Анализ разрывных нарушений. Соотношение между различными элементами взбросо-сдвига и сбросо-сдвига. Соотношение между сместителем и оперяющими трещинами.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Порядок формирования компетенций, результаты обучения, критерии оценивания и перечень оценочных средств текущего контроля по дисциплине приведены в Фондах оценочных средств курса «Структурный анализ».

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в первом семестре проводится в письменной форме по билетам.

Сам экзамен состоит из практической и теоретической части. На каждую из частей выдается билет с заданиями. В теоретическом билете три задания, причем в отдельных случаях один из вопросов может быть практическим выражением одного из двух теоретических вопросов, чтобы отвечающий на конкретном примере отразил решение теоретического вопроса. В билете по практике два вопроса, для решения которых необходима сетка Вульфа (Шмидта), которые выдаются на экзамене. Компетенция - **ИУК-1.3. Оценивает результаты решения поставленной задачи**, нацелена в большей степени на освоение навыков решения практических задач. Компетенция - **ИОПК 2.2. Анализирует и систематизирует геологические объекты в структурах разного порядка**, нацелена большей частью на теоретическую составляющую. Но необходимо

отметить, что практическая часть неотделима от теоретической по сути понимания как геологических объектов, так и механизма, так и истории (стадийности) их формирования.

Продолжительность подготовки ответа 45 минут.

Допуск к экзамену осуществляется на основе выполнения контрольной работы по практическим занятиям. В противном случае, обучающийся может самостоятельно выполнить контрольную работу и прийти с ней на экзамен. В этом случае проводится оценивание выполненной контрольной работы и далее оценка ответа на экзаменационные вопросы

Процедура проверки освоения компетенций и порядок формирования итоговой оценки по результатам освоения дисциплины «Структурный анализ» описаны в Фондах оценочных средств для данного курса.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22216>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине представлены в виде билетов. Общий перечень вопросов приведен в РПД.

— Родыгин А.И. Азимутальные проекции в структурной геологии. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1981. – 185 с. II изд. 1992. – 185 с.

— <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000051358>

— Родыгин А.И. Признаки направления смещения при деформации сдвига. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1991. – 100 с.

— [Сборник задач по структурной геологии : для студентов геологических специальностей ТГУ /А. И. Родыгин ; Том. гос. ун-т, . Томск. – 2002. – 73 с.](http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000191706)

— <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000191706>

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Гончаров М.А., Талицкий В.Г., Фролова Н.С. Введение в тектонофизику: Учебное по-сobie. – М.: КДУ, 2005. – 496 с.

– Кирмасов А.Б. Основы структурного анализа. М.: Научный мир, 2011. – 368 с.

- Корсаков А.К. Структурная геология: учебник/ А.К. Корсаков. – М.: КДУ, 2009. – 325 с.

б) дополнительная литература:

— Ажгирей Г.Д. Структурная геология. – М.: Изд-во МГУ, 1966. – 347 с.

— Белоусов В.В. Структурная геология. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 244 с.

— Гзовский М.В. Основы тектонофизики. – М.: Наука, 1975. – 535 с.

— Гончаров М.А. Механизм геосинклинального складкообразования. – М.: Недра, 1988. – 263 с.

— Добржинская Л.Ф. Деформации магматических пород в условиях глубинного тектогенеза. – М.: Наука, 1989. – 287 с.

— Елисеев Н.А. Основы структурной петрологии. – Л.: Наука, 1967. – 257 с.

- Заика-Новацкий В.С., Казаков А.Н. Структурный анализ и основы структурной геологии. – Киев, 1989. – 278 с.
- Кушнарев И.П., Кушнарев П.И., Мельникова К.М. Методы структурной геологии и геологического картирования. – М.: Недра, 1984. – 362 с.
- Лукьянов А.В. Пластические деформации и тектоническое течение в литосфере. – М.: Наука, 1991. – 144 с.
- Невский В.А. Трещинная тектоника рудных полей и месторождений. – М.: Недра, 1979. – 224 с.
- Николя А. Основы деформации горных пород. – М.: Мир, 1992. – 167 с.
- Паталаха Е.И. Тектонофациальный анализ складчатых сооружений фанерозоя. – М.: Недра, 1985. – 165 с.
- Родыгин А.И. Структурные диаграммы. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1980. – 76 с.
- Родыгин А.И. Методы стрейн-анализа. – Томск, Томский гос. ун-т, 2006. – 164с. <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000223515>.
- Glossary of structural geology and tectonics Electronic resource /edited by P. S. Saklani/ Delhi : Satish Serial Publishing House , 2008. – 191p. URL: <http://sun.tsu.ru/limit/2017/000556072/000556072.pdf>.
- The techniques of modern structural geology Electronic resource Vol. 2 /John G. Ramsay, Martin I. Huber. Amsterdam [a. o.]: Elsevier, Academic Press, 2006. – 309-700p. <http://sun.tsu.ru/limit/2017/000556071/000556071.pdf>
- 1Earth structure Electronic resource : an introduction to structural geology and tectonics /Ben A. van derPluijm, Stephen Marshak ; with contributions by Richard W. Allmendinger [a. o.] New York [a. o.] : W. W. Norton & Company , 2004. 1 online resource (XVI, 656 p.): ill. <http://sun.tsu.ru/limit/2017/000556054/000556054.pdf>
- Active faults of the world /Robert Yeats Cambridge [a. o.] : Cambridge University Press , 2012. XII, 621 p.: ill., map. URL: <http://assets.cambridge.org/97805211/90855/cover/9780521190855.jpg>

в) ресурсы сети Интернет:

- Косыгин Ю.А. Тектоника. - М.: Недра, 1969 г. – 616 с. URL: <http://web.ru/db/msg.html?mid=1184221>
- Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. Учебник. Для студентов геологических специальностей вузов. – М: Изд-во МГУ, 1995 г. – 480 с. URL: <http://avspir.narod.ru/geo/khain1995/index.htm>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Томск, 2011-. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- Journal of Structural Geology [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Elsevier Ltd., 1979-. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/01918141> (Полнотекстовый доступ со всех университетских компьютеров и Научной Библиотеки ТГУ)
- Tectonophysics [Электронный ресурс] . – Электрон. дан. – Elsevier Ltd., 1964-. URL: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00401951> (Полнотекстовый доступ со всех университетских компьютеров и Научной Библиотеки ТГУ)

13. Перечень информационных ресурсов

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
 - Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
 - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

- б) информационные справочные системы:
- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
 - Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
 - ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
 - ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
 - Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
 - ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
 - ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

1. Лекционные аудитории (№ 119, 245 Главного корпуса ТГУ), оснащенные мультимедиа-проектором.
2. Сетки Вульфа, Шмидта, горные компасы, таблицы, схемы.
3. Библиотека специальной литературы по структурной геологии и структурному анализу на кафедре (свыше 50 наименований).
4. Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.
5. Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Максиков Сергей Владимирович, канд. геол.-минер. наук, доцент кафедры палеонтологии и исторической геологии

Программа одобрена на заседании учебно-методической комиссии геолого-географического факультета «21» мая 2021 г., протокол № 5.