

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

«29» июня 2022 г.



Рабочая программа дисциплины

Физические методы исследования вещества

по направлению подготовки **05.03.01 Геология**

Направленность (профиль) подготовки / специализация:
«Геология»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2022

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.03

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:

ОПК-1. Способен применять знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественно-научного и математического циклов при решении стандартных профессиональных задач.

ПК-1. Способен участвовать в геологических работах и осуществлять их координацию при геологическом изучении отдельных участков недр.

ПК-2. Способен проводить комплекс специализированных исследований геологических объектов.

2. Задачи освоения дисциплины

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.3. Применяет знания основных законов физики при решении задач в практической и профессиональной деятельности.

ИПК-1.3. Использует методические положения, инструкции и требования по геологическому изучению недр, производству геологоразведочных работ.

ИПК-2.1. В составе группы специалистов осуществляет обработку и анализ результатов геологических, минералогических, геохимических и других исследований.

3. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина Б1.В.03 «Физические методы исследования вещества» относится к части, формируемой участниками образовательной программы учебного плана подготовки бакалавра по направлению подготовки 05.03.01 Геология.

4. Семестр освоения и форма промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр пятый, экзамен.

5. Входные требования для освоения дисциплины. Постреквизиты

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования: Химия, Физика, Кристаллография, Минералогия.

Освоение дисциплины необходимо для успешной реализации следующих курсов: Методы минералого-геохимических исследований, Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых, Шлиховой метод.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часа, из которых:

– лекции: 34 ч.;

– практические занятия (в том числе, практическая подготовка) 34 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

8.1. Физические основы методов анализа состава и структуры вещества

Предмет и задачи дисциплины. Оборудование и организация работы в центрах коллективного пользования. Взаимосвязь состава, структуры и свойств материала. Основные характеристики электромагнитного излучения, спектр электромагнитного

излучения. Виды излучения в зависимости от энергии и длины волны электромагнитного излучения. Их связь с методами исследования.

Взаимодействие излучения с веществом. Формы взаимодействия излучения с исследуемым материалом: упругое и неупругое рассеяние. Зависимость свойств и реакционной способности поверхности от типа химической связи, топографии поверхности, химического состава, структуры химической связи, атомной структуры и электронного состояния. Основные виды сигналов от поверхности. Вторичные и отраженные электроны. Католюминесценция. Оже-электроны. Рентгеновское излучение. Наведенный ток. Магнитный контраст. Контраст за счет каналирования электронов. Проходящие (трансмиссионные) электроны.

Физические явления и законы, используемые в аналитических методах анализа, основанных на взаимодействии излучения с веществом: интерференция, дифракция, поведение заряженных частиц в электрических и магнитных полях, квантовые эффекты в твердом теле.

8.2. Основы рентгеноструктурного анализа

Физические явления, лежащие в основе метода: интерференция и дифракция света. Рентгеновская дифракция на кристаллической решетке. Оптическая и электроннооптическая дифракционные картины. Уравнение Вульфа-Брэггов. Дифракционные максимумы: первого, второго и т.д. порядков. Условия Лауэ. Интерференционное уравнение. Геометрическая иллюстрация интерференционного уравнения в двумерном случае.

Механизмы взаимодействия рентгеновского излучения с веществом: упругое и неупругое рассеяние. Квантование энергии. Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение. Вид спектра. Постулаты Бора. Классификация рентгеновских квантовых переходов: серии K, L, M. Переходы α_1 , α_2 , β . Закономерности характеристического спектра. Принцип работы рентгеновской трубки. Тормозное излучение. Зависимость тормозного спектра от ускоряющего напряжения, массы тормозящейся частицы, длины волны и силы тока, протекающего через рентгеновскую трубку. Применение фильтров и критерий их выбора.

Применение рентгенографии для решения задач качественного и количественного анализа кристаллов. Диагностика мономинеральных фаз и качественный анализ смесей химических соединений и минералов. Порядок расшифровки дифрактограммы: определение углов дифракции, определение интенсивности линий и межплоскостных расстояний. Использование справочников и банков рентгеновских данных для определения минерала. Способы индексирования рентгеновских спектров. Закономерные погасания дифракционных рефлексов. Количественный фазовый анализ. Факторы, влияющие на соотношение интенсивностей рефлексов в полифазном образце. Определение соотношений фаз в двухкомпонентной смеси.

Аппаратура и методы получения рентгодифракционных спектров. Устройство дифрактометров и принцип их действия. Устройство и принцип работы рентгеновской трубки. Источник питания. Гониометрическое устройство. Особенности работы с дифрактометром. Условия съемки. Приготовление образцов для съемки порошковых рентгенограмм.

8.3. Рентгенофлуоресцентный спектральный анализ

Сущность и физические основы рентгенофлуоресцентного спектрального анализа. Метод рентгеновской спектроскопии и его сущность. Природа рентгеновских спектров. Возбуждение спектра. Эмиссия характеристического рентгеновского излучения и ее использование для определения химического состава вещества. Закон Мозли. Качественный и количественный анализ. Нижние пределы обнаружения элемента. Устройство рентген флуоресцентного спектрометра. Энергодисперсионный и волнодисперсионный анализаторы. Геометрия Йохана и Йоханссона волнового

спектрометра. Локальный рентгеноспектральный анализ. Подготовка проб. Преимущества и недостатки методов.

8.4. Основы спектроскопии

Физические основы спектрального анализа. Атомные спектры: линейчатый и полосатый. Спектры атома водорода и серии его спектров. Абсорбционная и эмиссионная спектроскопия. Молекулярные спектры (полосатые спектры). Виды энергии и полос спектра молекулы: электронная, колебательная и вращательная (наименьшая энергия фотонов, при переходе из одного вращательного состояния в другое). Классификация областей спектра.

Измерительные системы спектроскопии. Место поглощения: длина волны, волновое число, частота. Интенсивность поглощения, её зависимость от плотности населенности и вероятности перехода. Количественный и качественный анализы. Количественное определение концентрации вещества на основе закона Бугера-Ламберта-Бера (монохроматический свет и идеальные растворы). Применение закона Бугера-Ламберта-Бера: зависимость интенсивности света от его длины пути, принцип количественного анализа и построение градуировочного графика на основе стандартов. Определение концентрации смеси компонентов на основе оптической плотности как суммы парциальных оптических плотностей отдельных компонентов.

Виды спектроскопии: ультрафиолетовая, инфракрасная, атомно-абсорбционная и атомно-эмиссионная. Конструкции спектрометров, его составные части: источник излучения, монохроматор, выходная щель, камера образца, детектор. Задачи, решаемые с помощью различных видов спектроскопии.

8.5. Спектроскопия комбинационного рассеяния

Физическая сущность спектроскопии комбинационного рассеяния (Рамановская спектроскопия). Эффект Рамана. Стоксово и антистоксово рассеяние. Рамановский сдвиг. Используемые длины волн лазерного излучения. Конструкции спектрометров. Рамановская спектроскопия с Фурье преобразованием и интерферометром. Особенности и недостатки метода.

8.6. Масс-спектрометрия

Масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС), сущность метода, задачи, достоинства и недостатки метода. Основа метода и стадии эксперимента: пробоподготовка, предподготовка пробы; подготовка, ввод и ионизация вещества (аэрозолем и с использованием лазерной десорбции); создание ионного пучка, разделить ионный пучок по массам в магнитном поле; детектирование массы и обработка сигнала. Составные части ИСП-МС и их принцип действия.

8.7. Люминесценция минералов

Понятие люминесценции и этапы преобразования энергии при люминесценции. Виды люминесценции: фосфоресценция и флуоресценция, фотолюминесценция, рентгенолюминесценция, термолюминесценция и др. Признаки лежащие в основе классификации видов люминесценции. Схемы квантовых переходов при элементарном процессе люминесценции, при метастабильной (стимулированной) люминесценции, при люминесценции кристаллофоров. Дефекты в кристаллах. Центры свечения при люминесценции в минералах. Особенности свечения минералов при рентгеновском возбуждении. Природные проявления люминесценции. Использование явления люминесценции в лабораторных методах исследования, технологии и геологии.

8.8. Сканирующая электронная микроскопия и системы электронно-зондового микроанализа

Задачи, решаемые с помощью сканирующей электронной микроскопии и систем электронно-зондового микроанализа. Принципиальное устройство сканирующего электронного микроскопа: электронная пушка и блок высокого напряжения, электронная оптика и сканирующее устройство, вакуумная система, детекторы сигналов (вторичных, отраженных, поглощенных, проходящих и оже-электронов). Приставки системы

электронно-зондового микроанализа. Локальный рентгеноспектральный анализ (РСМА): спектрометры с энергетической дисперсией и волнодисперсионный спектрометр.

Явления, происходящие при взаимодействии ускоренных электронов с веществом. Упругое и неупругое рассеяние электронов. Область взаимодействия: влияние атомного номера, зависимость от энергии пучка. Тормозное рентгеновское излучение. Эмиссия характеристического рентгеновского излучения. Поглощенные электроны. Оже-электроны. Католюминесценция. Проходящие (трансмиссионные) электроны. Основные типы сигналов, используемые для получения изображения в сканирующем электронном микроскопе (вторичные и отраженные электроны). Топографический контраст. Вещественный (фазовый) контраст (яркость изображения в обратно рассеянных электронах, как функция среднего атомного номера). Контраст за счет каналирования электронов.

Определение локального химического состава вещества с помощью спектрометра с энергетической дисперсией. Сущность, возможности и ограничения метода. Функции при энергодисперсионном анализе (анализ по точкам, вдоль секущей, картирование, программа автоматического анализа и классификации микровключений и частиц по заданным химическим и морфологическим критериям). Рентгеноспектральный анализ локального химического состава с помощью волнодисперсионного спектрометра. Сущность метода, его преимущества и недостатки. Схема съемки волновым спектрометром. Сравнение характеристик методов энергодисперсионной и волновой спектроскопии. Возможность одновременного использования методов (режим INCA Energy +).

Система анализ дифракции отраженных электронов – метод микроструктурного анализа и текстурного анализа, построение карт ориентировки кристаллитов, анализ типа границ и характеристик зерен, построение полюсных фигур, выделение кристаллитов выбранной ориентировки, выделения фаз и построение карт их распределения.

Практические вопросы количественного РСМА. Эталоны. Подготовка образцов для различных видов анализа. Источники ошибок в РСМА. Метрологические характеристики метода.

8.9. Термический анализ и его сочетание с другими методами

Сущность метода термографии или термического анализа. Кривые нагрева и охлаждения. Элементы и особые точки термических кривых, их связь со структурными превращениями. Диаграммы состояния и принцип их построения. История развития метода и его современное состояние. Современные методы термического анализа. Калориметрия. Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) теплового потока и с компенсацией мощности. Анализ сигнала ДСК. Применение ДСК. Дифференциальный термический анализ (ДТА). Сравнение ДСК и ДТА. Термогравиметрический метод (ТГ). Синхронный термический анализ (СТА) – сочетание ДСК и ТГ. Анализ кривых СТА. Совмещение синхронного термического анализа с квадрупольным масс-спектрометром. Дилатометрия (ДИЛ).

Современная аппаратура для термического анализа. Подготовка проб для термического анализа. Интерпретация термограмм. Факторы, влияющие на точность и воспроизводимость результатов термического анализа. Идентификация минералов по кривым ДТА. Справочники по термическому анализу.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, ответов на вопросы тестов по каждой теме («Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=2148>) 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 «Физические методы исследования вещества».

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первая часть представляет собой два теоретических вопроса для проверки знаний по компетенциям ИОПК 1.3, ИПК-1.3.

Вторая часть содержит практическое задание по обработке аналитических данных и их интерпретации, проявить умения и навыки использования аналитических методов исследования вещества (ИПК-2.1)

Процедура проверки освоения компетенций и порядок формирования итоговой оценки по результатам освоения дисциплины «Физические методы исследования вещества» 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=2148>

б) Материалы для текущего контроля и аттестации по разделам дисциплины загружены в «Moodle».

в) Материал для практических занятий и методические рекомендации по выполнению заданий представлены самостоятельными документами в курсе «Moodle».

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература

1. Брандон Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля / Д. Брандон, У. Каплан. – М.: Техносфера, 2006. – 384 с.
2. Савицкая Л.К. Рентгеноструктурный анализ: учебное пособие / Л. К. Савицкая ; науч. ред. Л. Л. Мейснер. – Томск: СЛЛ-Пресс, 2006. – 274 с.

б) дополнительная литература

3. Беккер Ю. Спектроскопия / Ю. Беккер. – М.: Техносфера, 2009. – 528 с.
4. Лабораторные методы исследования минералов, руд и пород / под ред. В. И. Смирнова. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 296 с.

в) ресурсы сети Интернет

Курс кристаллографии, МГУ

cryst.geol.msu.ru/

Электронные ресурсы свободного доступа, прописанные в предметных коллекциях на сайте НБ ТГУ

[www.lib.tsu.ru/ru/
geologiya](http://www.lib.tsu.ru/ru/geologiya)

Все о геологии

<http://geo.web.ru/>

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 On-eNote, 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/>

в) профессиональные базы данных:

- Университетская информационная система РОССИЯ – <https://uisrussia.msu.ru/>
- Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) – <https://www.fedstat.ru/>

14. Материально-техническое обеспечение

Обучение по дисциплине «Физические методы исследования вещества» осуществляется на базе:

Проведения занятий лекционного типа осуществляется в специализированной аудитории 119 (1-го учебного корпуса ТГУ), оборудованной компьютером и проектором.

Практические занятия и самостоятельная работа проводятся в аудитории № 154 (1-го учебного корпуса ТГУ), оборудованной компьютером и проектором. Практические занятия заключаются в выполнении заданий по обработке аналитических данных, знакомством с программным обеспечением, базами данных. и. Знакомство с аналитическим оборудованием осуществляется в аудиториях ЦКП «Аналитический центр геохимии природных систем»:

- люминесцентно-спектроскопическая установка, собранная на базе монохроматора ДМР-4 в комбинации с источниками стационарного и импульсного рентгеновского излучения БСВ-2 и УРС-55;
- рентгеновские дифрактометры Panalytical X'PERT Powder и ДРОН-2;
- масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой Agilent 7500 и Agilent 7900 с системой лазерной абляции New Wave UP 213;
- атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой iCAP 7400Duo;
- прибор синхронного термического анализа STA 409 PC Luxx (сочетание дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрического метода);
- сканирующих электронных микроскопов Tescan VEGA II LMU с системами волнодисперсионного микроанализатора Oxford INCA Wave и энергодисперсионного микроанализатора Oxford INCA Energy350; Tescan MIRA 3 с приставками Nordlys и UltimMax.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

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

Лычагин Дмитрий Васильевич – заведующий кафедрой минералогии и геохимии, профессор, доктор физ.-мат. наук.

Программа одобрена на заседании учебно-методической комиссии геолого-географического факультета «24» июня 2022 г., протокол № 6.