



## **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: 26 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  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta$ . 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/](http://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 «22» июня 2023 г., протокол № 7.