

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
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  
ЛОКАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕЩЕСТВА**

Авторы-составители: Н.Г.Зиновьева, В.О.Япаскурт

**Уровень высшего образования:**  
*Бакалавриат*

**Направление подготовки:**  
**05.03.01 Геология**

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
**Геохимия**

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, 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.*

## Цели и задачи дисциплины

**Цель** курса «Локальные методы исследования вещества» - знакомство слушателей с важнейшими методами локального исследования химического состава и строения кристаллического вещества и стёкол, применяемыми в геологии и науках о материалах.

**Задачи:** изучение физических принципов методов локального исследования вещества, знакомство с условиями и ограничениями их применения для решения геологических, минералогических и петрологических задач, получение навыков обработки аналитических данных, планирования и построения методик исследования

### Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Курс «Локальные методы исследования вещества» знакомит слушателей с наиболее важными способами изучения химического состава и строения твёрдого (кристаллического и стекловатого) вещества на микро- и нано-уровне: с методами сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии; с рентгеноспектральным энергодисперсионным и волновым дифракционным электроннозондовым микроанализом; с использованием дифракции отраженных электронов и эффектов химического сдвига эмиссионных линий химических элементов; с инфракрасной спектроскопией и спектрами комбинационного рассеяния; с локальными вариантами методов масс-спектрометрии. Наряду с базовыми сведениями традиционными аспектами обсуждаются и новейшие методики, такие как прямые и косвенные способы локального анализа лёгких элементов. В рамках семинарских занятий слушатели осваивают способы получения и обработки спектроскопических и аналитических данных. Уникальность курса обусловлена тем, что с большинством методов сканирующей электронной микроскопии, электронно-зондового микроанализа, дифракции отражённых электронов и КР-спектроскопии студенты могут познакомиться на практике в рамках лабораторных занятий.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО** – вариативная часть, профессиональный цикл, профессиональные дисциплины по выбору, курс – III, семестр – 5.

### 2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Общая геология», «Общая физика», «Общая химия», «Аналитическая химия», «Кристаллография и кристаллохимия», «Минералогия».

Дисциплина необходима в качестве предшествующей для научно-исследовательской работы и выполнения выпускных квалификационных работ.

### 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)	<b>Б.ОПК-3. И-1.</b> Использует типовые подходы и методы при решении задач профессиональной деятельности.	<b>Знать:</b> условия и границы применения основных методов локального изучения состава и строения вещества;
	<b>Б.ОПК-3. И-2.</b> Владеет базовыми навыками получения информации (полевой, камеральной, лабораторной) для решения стандартных задач профессиональной деятельности в	<b>Уметь:</b> грамотно производить отбор проб (образцов) вещества для осуществления исследований, корректно обрабатывать и интерпретировать

	соответствии с профилем подготовки.	получаемые аналитические данные
	<b>Б.ОПК-3. И-3.</b> Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки.	<b>Владеть:</b> навыками инструментальной работы, основными методами математической и статистической обработки результатов инструментальных измерений
<b>ПК-5.Б</b> Готов к работе на современных полевых/лабораторных приборах, установках и оборудовании в соответствии с профилем подготовки	<b>Б.ПК-5. И-1.</b> Знает физические принципы и технические характеристики стандартного полевого/лабораторного оборудования (по профилю подготовки).	<b>Знать:</b> принципы применения основных методов локального изучения состава и строения вещества;
	<b>Б.ПК-5. И-2.</b> Имеет базовые навыки работы под руководством специалиста высокой квалификации на полевом/лабораторном оборудовании (по профилю подготовки).	<b>Уметь:</b> в зависимости от конкретных научных или производственных целей и задач подбирать методологическую схему и методики исследований вещества природных объектов и экспериментально полученных материалов,
	<b>Б.ПК-5. И-3.</b> Знает правила техники безопасности при работе на полевом/лабораторном оборудовании (по профилю подготовки).	<b>Знать:</b> правила техники безопасности при работе на сканирующем электронном микроскопе и других приборах локального анализа вещества.

**4. Формат обучения** – лекционные, семинарские и лабораторные занятия, не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.)

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет **4 з.е., 144 академических часов**, в том числе **48 академических часов**, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**16 часов** – занятия лекционного типа, **16 академических часов** – занятия семинарского типа и **16 академических часов** - лабораторные работы), **96 академических часов** на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

**6. Содержание дисциплины (модуля)**

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Введение. Обзор современных локальных методов исследования вещества.		2	2	2	6	4 часа, включая подготовку к устному опросу.
Раздел 2. Электронная микроскопия и ее применение в геологии; основы интерпретации электронных изображений.		4	4	4	12	15 часов, включая подготовку к контрольной работе № 1.
Раздел 3. Электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ (энергодисперсионный и волновой дифракционный методы).		4	4	4	12	15 часов, включая подготовку к контрольной работе № 2.
Раздел 4. Электронно-зондовые методы изучения кристаллического строения, валентного состояния и кристаллических дефектов.		4	4	4	12	16 часов, включая подготовку к устному опросу.
Раздел 5. Инфракрасная и Рамановская (спектры комбинационного рассеяния) спектроскопия в геологии.		1	1	1	3	16 часов, включая подготовку к устному опросу.
Раздел 6. Масс-спектрометрические методы анализа с лазерным (лазерная абляция) и ионным (ионный зонд) отбором вещества.		1	1	1	3	20 часов, включая подготовку к контрольной работе № 3.

Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>			10
<b>Итого</b>	<b>144</b>	<b>48</b>	<b>96</b>

## **Содержание разделов дисциплины:**

Раздел 1. Введение. Обзор современных локальных методов исследования вещества. Микроскопические, спектроскопические и масс-спектрометрические методы, их сравнительные характеристики, локальность и прецизионность. Области приложения и ограничения в использовании. Вводятся понятия пространственного и концентрационного разрешения, порога обнаружения, дисперсии, истинной и относительной погрешности. Обсуждаются наиболее распространенные законы распределения. Лабораторная работа посвящена освоению методов подготовки проб горных пород, минералов и синтетических материалов к электронно-микроскопическим, электронно-зондовым, спектроскопическим и масс-спектрометрическим исследованиям.

Раздел 2. Электронная микроскопия и ее применение в геологии; основы интерпретации электронных изображений. Принципиальное устройство электронного микроскопа. Просвечивающие и сканирующие электронные микроскопы, их главные характеристики, режимы работы и исследуемые объекты. Некоторые примеры применения просвечивающей электронной микроскопии для решения геолого-минералогических задач (идентификация состава и структурного состояния фаз и включений субмикронной и наноразмерности, исследование дефектов кристаллической структуры). Методы получения сведений о химизме в просвечивающей микроскопии (качественный и полуколичественный энергодисперсионный анализ вторичного электромагнитного излучения и анализ характеристических энергетических потерь первичных электронов). Сканирующие электронные микроскопы и их разновидности по способу получения первичного электронного излучения. Понятие электронного зонда, его важнейшие характеристики (энергия, сила тока, диаметр) и принципы управления. Взаимодействие электронного зонда с образцом. Виды вторичного излучения (электронное, подразделяемое на отраженные, собственно вторичные и Оже-электроны, и электромагнитное, в диапазоне от инфракрасного до рентгеновского) и принципы его возникновения. Микроскопические, спектроскопические и спектрометрические (аналитические) методы исследования, связанные с этими типами излучения. Краткие сведения об Оже-спектроскопии и катодоллюминесценции, имеющих ограниченное применение в геологии и минералогии. Электронные изображения во вторичных электронах: принципы получения и интерпретации, влияние угла наклона поверхности и среднего атомного номера мишени. Выбор оптимальных режимов для получения требуемых соотношений разрешения, площади поля зрения и глубины резкости. Способы получения изображений во вторичных электронах на диэлектриках (нанесение токопроводящих покрытий, подбор оптимального ускоряющего напряжения для стока статического заряда по поверхности или работа в режиме низкого вакуума). Электронные изображения в отраженных электронах: принципы получения и интерпретации изображений в обратно рассеянных электронах. Влияние среднего атомного номера и плотности (ретикулярной плотности для анизотропных веществ) на интенсивность эмиссии обратно рассеянных электронов. Выбор оптимальных режимов для получения требуемых соотношений разрешения, контрастности и площади поля зрения. Особенности получения изображений во вперед рассеянных электронах и влияние на их формирование эффекта дифракции отраженных электронов в кристаллах. На семинарских занятиях обсуждаются вопросы интерпретации электронных изображений природных и синтетических объектов с точки зрения выявления характерных форм внутреннего и внешнего строения кристаллических фаз (минеральных индивидов) и их агрегатов, отражающих механизмы их роста, растворения и регенерации. В ходе лабораторных работ студентам демонстрируются возможности сканирующей электронной микроскопии, влияние условий и режимов настройки приборов на качество получаемого результата.

Раздел 3. Электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ (энергодисперсионный и волновой дифракционный методы). Виды вторичного электромагнитного излучения по механизму возникновения: тормозное и

характеристическое излучение. Принципы возникновения, идеализированная и реальная форма энергетического спектра тормозного (перманентного) и характеристического (дискретного) излучения. Понятия эмиссионной линии и пика характеристического излучения в спектре. Спектроскопическая и квантовая номенклатура эмиссионных линий химических элементов. Принципы идентификации химических элементов по наличию их характеристических линий в эмиссионных спектрах. Линейный характер зависимости интенсивности характеристического излучения от концентрации элемента как основа рентгеноспектрального микроанализа. Нормальный характер дисперсии эмиссионных линий как основа для математической обработки сложно составленных спектров: функция Гаусса, деконволюция и понятие спектрального разрешения. Эмпирический стандартный (посредством сравнения со стандартом) бескоррекционный метод количественного электроннозондового анализа и его ограничения. Влияние энергии первичного электронного зонда на морфологию спектра тормозного и характеристического излучения; критерии выбора энергии электронного зонда для аналитических измерений. Влияние среднего атомного номера на морфологию тормозного излучения. Эффекты вторичной флюоресценции адсорбции вторичного излучения и их влияние на морфологию эмиссионного спектра. Суть поправок на средний атомный номер, адсорбцию и вторичную флюоресценцию, существующие модели и их использование в электронно-зондовом микроанализе. Влияние плотности (для кристаллов – ретикулярной плотности) вещества на эмиссию вторичного излучения и плотностная неопределенность в электронно-зондовом микроанализе. Особенности электроннозондового анализа диэлектриков (измерение под плёнкой токопроводящего покрытия или в режиме низкого вакуума). Близость химизма и плотности к измеряемому веществу – основные критерии для выбора стандартов сравнения в микроанализе. Требования к стандартам. Использование стандартов для измерений концентрации и оценки качества анализа. Истинная погрешность и формы ее представления в абсолютных и относительных концентрационных величинах; погрешность среднего. Использование истинной погрешности в качестве поправочного коэффициента. Бесстандартные методы анализа в современных программных оболочках, их возможности и ограничения. Вероятностная (шумовая) природа эмиссионного спектра – главная причина ограничения точности измерений, проявляющейся в дисперсии результатов измерения и в высоких порогах обнаружения. Нормальное распределение шумовой компоненты и функция Гаусса как основа для количественной оценки точности измерения (порогов обнаружения и дисперсии результатов). Влияние условий измерения (времени экспозиции и силы тока электронного зонда, т.е. его интенсивности) на статистику эмиссии квантов тормозного и характеристического излучения как основа для управления точностью анализа. Связь энергии и длины волны электромагнитного излучения – основа разнообразия методов измерения. Энергодисперсионный и волновой дифракционный методы рентгеноспектрального анализа: особенности и сравнительные характеристики. Принципиальное устройство энергодисперсионного спектрометра. Важнейшие параметры и возможности современных энергодисперсионных детекторов. Особенности строения энергодисперсионного спектра – фантомные пики: шумовой пик, пики потерь и суммарные пики. Достоинства и недостатки энергодисперсионного метода анализа. Закон Брэгга-Вульфа и принципиальное устройство волнового дифракционного спектрометра. Важнейшие характеристики и настройки современных волновых спектрометров, их возможности, достоинства и недостатки. Особенности эмиссионных спектров, полученных методом волновой дифракции: дискретность, нелинейность, наличие порядковых линий. Основные и производные формы представления аналитических данных. Критерии полноты и качества в энергодисперсионном и волновом дифракционном электроннозондовом анализе. Проблемы электронно-зондового анализа лёгких элементов (литий, бериллий, бор, углерод, азот, кислород): современные возможности и ограничения. На семинарских занятиях прорабатываются вопросы построения и интерпретации спектров вторичного электромагнитного излучения, номенклатуры и классификации эмиссионных линий



характеристического излучения химических элементов, разбираются примеры расчётов концентрационных зависимостей (бескоррекционным методом), истинных и относительных погрешностей, точностей измерения и порогов обнаружения элементов. В ходе лабораторных работ студентам на практике демонстрируются основные зависимости результатов спектральных и аналитических измерений от параметров и условий настроек оборудования, а также возможности энергодисперсионного и волнового дифракционного методов электроннозондового микроанализа. Также обсуждаются дополнительные возможности этих методов при решении вопросов пространственного распределения химических элементов в образце, исследования концентрационных градиентов и идентификации фаз сложного и непостоянного химического состава.

Раздел 4. Электронно-зондовые методы изучения кристаллического строения, валентного состояния и кристаллических дефектов. Эффект дифракции отраженных электронов на плоскостях кристаллической решетки мишени и полосы Кикучи. Получение дифракционных картин в нормальном (метод качания электронного зонда) и наклонном положении мишени (при помощи камеры ДОРЭ). Примеры математической обработки дифракционных картин (через преобразование в пространство Хафа) и проблемы их интерпретации. Использование электронных дифракционных картин для сравнительного определения группы симметрии кристаллической фазы и ее пространственной ориентировки. Использование эффекта дифракции отраженных электронов для выявления предпочтительных кристаллографических ориентировок в агрегатах кристаллических фаз. Представление результатов на полюсных диаграммах. Понятие петроструктурного узора, принципы его возникновения и интерпретации. Понятие эффектов химического и кристаллохимического сдвига спектральных линий как отражение влияния энергии химической связи и кристаллического поля на энергию (длину волны) и интенсивность (вероятность реализации межуровневой электронной релаксации) характеристического излучения. Примеры использования эффектов химического сдвига для идентификации полиморфных фаз и определения валентного состояния химических элементов переменной степени окисления. Негативное воздействие химического сдвига на аналитические измерения и способы его минимизации. Альтернативные способы оценки валентных состояний и полуколичественного измерения неанализируемых компонентов (например, кристаллогидратной воды, гидроксид- или карбонат-ионов и т.п.) в кислородных соединениях посредством прямого измерения кислорода.

Раздел 5. Инфракрасная и Рамановская (спектры комбинационного рассеяния) спектроскопия в геологии. Инфракрасная спектроскопия: физические принципы метода, аппаратура и условия реализации измерений. Примеры ИК-спектров и их интерпретации. Спектры комбинационного рассеяния: физические принципы явления. Основные причины и способы появления комбинационного рассеяния. Принципиальные ограничения метода. Локальная КР-спектроскопия: особенности реализации. Особенности КР-спектроскопии оптически прозрачных фаз. Использование Рамановской (КР) спектроскопии для качественного и полуколичественного анализа кристаллических фаз и стекол.

Раздел 6. Масс-спектрометрические методы анализа с локальным лазерным (лазерная абляция) и ионным (ионный зонд) отбором вещества. Химические элементы и изотопы. Понятие массового числа и массы изотопа. Физические принципы масс-спектрометрии. Главнейшие способы ионизации и разделения химических элементов и их изотопов по массам (классификация методов масс-спектрометрии). Принципиальные схемы устройства приборов. Масс-спектрометрия в индуктивно-связанной плазме: принципы и возможности метода. Точность измерений. Применение масс-спектрометрии в индуктивно-связанной плазме для анализа элементов-примесей и для анализа изотопного состава. Использование стандартов сравнения и внутренних стандартов в масс-спектрометрических измерениях. Ограничения возможностей масс-спектрометрии в индуктивно-связанной плазме. Локальные масс-спектрометрические методы. Отбор порции вещества путем испарения лазерным лучом (лазерная абляция) и масс-спектрометрия в индуктивно-связанной плазме:

особенности и ограничения метода. Пробоотбор путем выбивания элементов из образца пучком тяжёлых ускоренных ионов (ионный зонд). Возможности и ограничения ионного зонда. Ионное травление – способ исследования объемного распределения химических элементов и изотопов.

### **Рекомендуемые образовательные технологии**

Курс базируется на *технологии полного усвоения*, при которой построение учебного процесса направлено на то, чтобы подвести всех учащихся к единому, чётко заданному уровню овладения знаниями и умениями. Содержание курса разбивается на небольшие блоки, с обязательным промежуточным контролем. При проведении практических занятий рекомендуется также использовать *технология обучения как учебного исследования* (основные этапы: столкновение с проблемой, сбор данных («верификация»), сбор данных (экспериментирование), построение объяснения, анализ хода исследования, выводы). В рамках курса используется смешанная модель обучения, в которой предусмотрены как лекционные, так и лабораторные занятия с разбором конкретных практических примеров, и семинарские занятия, посвященные проверке домашних заданий, проведению контрольных работ по основным разделам курса и обсуждению их результатов. В самостоятельную работу входит закрепление теоретического материала, рассмотренного на лекционных и лабораторных занятиях, выполнение домашних заданий, подготовка к контрольным работам и экзамену.

При чтении лекций используются мультимедийные презентации с визуально-текстовой формой представления дидактического материала. При проведении практических занятий используются электронный сканирующий микроскоп с приставками для энергодисперсионного и волнового дифракционного электронно-зондового микроанализа, детектор дифракции обратно рассеянных электронов, электронно-зондовый микроанализатор и вспомогательное оборудование для подготовки объектов исследования к работе (поляризационный оптический микроскоп, бинокулярная лупа, вакуумный испаритель).

## **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 в ходе контрольных опросов, проводимых на каждом семинарском занятии, а также при выполнении каждым студентом контрольных работ по каждому из трёх основных блоков разделов курса.

#### **Домашние задания для самостоятельной подготовки студентов:**

- работа с дополнительной литературой по разделам, пройденным на аудиторных занятиях;
- самостоятельное описание электронных изображений горных пород и минеральных агрегатов для закрепления навыков интерпретации характерных элементов их строения;
- самостоятельное освоение пользовательского программного обеспечения (электронные таблицы, графические редакторы и т.п.) для обработки аналитических данных и электронных изображений и их презентации.

#### **Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля:**

- Назовите важнейшие локальные методы исследования вещества;
- Какие из известных вам локальных методов позволяют выполнять количественные измерения химического состава вещества;
- Какие из известных вам локальных методов позволяют изучать структурно-текстурные взаимоотношения минеральных индивидов;
- Какие из известных вам локальных методов позволяют исследовать особенности кристаллического строения вещества;

- Какими способами можно узнать энергию электронного зонда в электронном микроскопе;
- Как повлияет изменение режимов (энергии электронного зонда, его силы тока или диаметра, рабочего расстояния) на качественные характеристики электронного изображения в отраженных и ли вторичных электронах (на его разрешение, максимальную площадь поля зрения, глубину резкости, степень контрастности и т.д.);
- Как будут отличаться на изображении в отраженных электронах фазы с данным средним атомным номером (или с известными стехиометрическими составом, для которых просто рассчитать средний атомный номер, например, кварц и форстерит или флюорит и альбит);
- Как уменьшить дисперсию интенсивности (шум) при получении изображения в отраженных (во вторичных) электронах;
- Какое из электронных изображений (в отраженных или во вторичных электронах) будет при прочих равных условиях обладать лучшим пространственным разрешением;
- Какую энергию электронного зонда нужно задать для получения оптимальной интенсивности заданной эмиссионной линии выбранного элемента;
- Насколько изменится величина порога обнаружения (или дисперсии измерения) элемента в энергодисперсионном или волновом дифракционном анализе, если при прочих равных условиях увеличить (уменьшить) время экспозиции в 4 раза (или в 9, 16, в 100 раз);
- Насколько изменится величина порога обнаружения (или дисперсии измерения) элемента в волновом дифракционном анализе, если при прочих равных условиях увеличить (уменьшить) силу тока электронного зонда в 4 раза (или в 9, 16, в 100 раз);
- Как можно улучшить локальность электроннозондового анализа (предложить возможно большее число вариантов);
- Как можно улучшить спектральное разрешение волнового дифракционного спектрометра;
- Как можно улучшить спектральное разрешение энергодисперсионного спектрометра;
- На что повлияет нестабильность тока электронного зонда в результирующем анализе при энергодисперсионном или при волновом дифракционном способах измерения;
- Какой стандарт из двух-трех предложенных вариантов (контрастных по среднему атомному номеру или по плотности) следует выбрать для измерения данного элемента в данном соединении;
- Какими способами можно уменьшить истинную погрешность измерения при данном методе анализа;
- Какими способами можно добиться понижения порога обнаружения (или уменьшения дисперсии результатов измерения) в данном методе анализа;
- Перечислить принципиальные (качественные) отличия волнового дифракционного и энергодисперсионного методов электроннозондового микроанализа;
- Выбрать наилучший (оптимальный с точки зрения качества, точности, трудоёмкости и экономичности) метод измерения состава данного вещества (для примера следует предлагать вещества с экстремальными свойствами или характеристиками: содержащие элементы с близкими энергиями используемых в анализе эмиссионных линий, такие как молибденит, галенит; нестабильные к термоэлектрическому воздействию зонда, например, цеолиты, водные или щелочные стёкла; минералы с низкими концентрациями элементов-примесей, такие как оливины с никелем или кварц с титаном и т.п.);
- Какими способами можно определить наличие кристаллогидратной воды (или иона гидроксидов, карбонат-иона и т.д.) в локальном объеме в кристаллической фазе или в стекле (перечислить как можно большее число вариантов и методов);
- Как в локальном объеме определить (оценить) валентное состояние элемента переменной степени окисления при помощи обсуждаемых методов (перечислить как можно большее число способов);
- Как в локальном объеме определить (оценить) кристаллическое состояние фазы при помощи обсуждаемых методов (перечислить как можно большее число способов).

**Типовые задания для лабораторных и контрольных работ:**

- рассчитать один из параметров настройки электронного зонда исходя из конкретной задачи (например, силу тока электронного зонда для достижения требуемой мощности при известном ускоряющем напряжении);
- рассчитать средний атомный номер вещества (минерала), исходя из его химической формулы или химического анализа;
- описать данное электронное изображение минерального индивида или агрегата, полученное во вторичных электронах, отметив важнейшие детали, характеризующие механизм его образования или преобразования (механизм роста, растворения, регенерации);
- описать данное электронное изображение плоского сечения минерального индивида или агрегата, полученное во отраженных электронах, отметив важнейшие детали, характеризующие механизм его образования или преобразования (механизм роста, растворения, регенерации);
- описать конкретное электронное изображение, полученное во вторичных или отраженных электронах, и дать рекомендации об изменении параметров (режимов) съёмки для улучшения его качества;
- определить энергию электронного зонда (или ускоряющее напряжение) по параметрам данного энергодисперсионного эмиссионного спектра;
- произвести анализ данного энергодисперсионного спектра вторичного электромагнитного излучения, определить при помощи таблиц эмиссионные линии каких элементов присутствуют в составе анализируемого вещества; зная условия измерения (энергию зонда) оценить количественные соотношения этих элементов; выявить в спектре пики, не являющиеся характеристическими (пики потерь и суммарные пики).
- произвести анализ данного спектра вторичного электромагнитного излучения, полученного методом волновой дифракции и определить при помощи таблиц эмиссионные линии каких элементов присутствуют в составе анализируемого вещества;
- выбрать наиболее удобные для измерения эмиссионные линии в предполагаемом наборе анализируемых элементов и предложить оптимальные режимы и способы выполнения анализа;
- подобрать наиболее подходящие стандарты (из данного списка веществ) для измерения состава минерала с заданным набором элементов и известными свойствами;
- на основе известных условий анализа и его результатов рассчитать режимы электронно-зондового измерения (например, силу тока или время экспозиции), необходимые для достижения требуемого порога обнаружения или дисперсии измеряемой концентрации;
- имея энергодисперсионные или волновые дифракционные спектры линии характеристического излучения одного и того же элемента, полученные при одинаковых условиях экспозиции в стандарте известного состава и в образце, рассчитать концентрацию этого элемента в образце (без использования коррекционных поправок);
- рассчитать стандартное отклонение измеренной концентрации элемента в данной выборке; зная величину аналитической дисперсии для данного элемента оценить однородность выборки (гомогенность состава образца);
- по данному электронно-зондovому анализу определить минерал или рассчитать стехиометрические соотношения элементов в химическом соединении;
- рассчитать истинную относительную погрешность измерения концентрации химического элемента в составе стандарта; оценить значимость рассчитанной погрешности измерения по сравнению с данной аналитической дисперсией (стандартным отклонением в данной выборке).

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

***Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:***

1. Локальные методы исследования вещества – их классификация и значение для решения геологических задач;
2. Электронные микроскопы – принципы действия, устройство, предназначение;
3. Просвечивающий электронный микроскоп - принцип действия, устройство, использование для решения минералогических и кристаллографических задач;
4. Параметры первичного электронного излучения, способы и следствия их изменения;
5. Особенности подготовки образцов (препаратов) для просвечивающей и сканирующей электронной микроскопии;
6. Сканирующий (растровый) электронный микроскоп - принцип действия, устройство, использование в геологии;
7. Типы вторичного электронного излучения: принципы возникновения и использование для целей изучения строения вещества;
8. Принципы получения и интерпретации изображений во вторичных электронах;
9. Принципы получения и интерпретации изображений в отраженных электронах;
10. Дифракция отраженных электронов: физический смысл явления, использование для решения геологических задач;
11. Оже-электронография: принципы и возможности метода;
12. Вторичное электромагнитное излучение: принципы получения;
13. Католюминесценция: принципы возникновения и основы анализа получаемых изображений;
14. Понятие первичного и вторичного излучения, области взаимодействия и области эффективной эмиссии;
15. Характеристическое и тормозное электромагнитное излучение: причины возникновения и зависимость от параметров первичного электронного излучения и строения мишени;
16. Принципы электроннозондового рентгеноспектрального микроанализа;
17. Ошибки и погрешности в рентгеноспектральном микроанализе: причины возникновения и способы их минимизации;
18. Коррекции (поправки) в рентгеноспектральном микроанализе;
19. Применение электроннозондового рентгеноспектрального микроанализа к решению геологических задач;
20. Методы получения спектров вторичного электромагнитного излучения, основные параметры и характеристики спектров;
21. Энергодисперсионные спектры вторичного электромагнитного излучения: особенности и принципы получения;
22. Принципы устройства энергодисперсионных спектрометров;
23. Фантомные пики (пики потерь и суммарные пики) в энергодисперсионном спектре: критерии выявления и отличия от пиков характеристического рентгеновского излучения;
24. Профиль спектральной линии, его оптимизация и стандартизация в энергодисперсионном микроанализе;
25. Ошибки и погрешности в энергодисперсионном микроанализе;
26. Выбор условий проведения измерений энергодисперсионным методом, их влияние на ошибки и погрешности измерений;
27. Особенности энергодисперсионного микроанализа элементов-примесей;
28. Особенности энергодисперсионного микроанализа легких элементов;
29. Волновые дифракционные спектры вторичного электромагнитного излучения: особенности и принципы получения;
30. Принципы устройства волновых дифракционных спектрометров;
31. Особенности стандартизации в волновом дифракционном микроанализе;
32. Ошибки и погрешности в волновом микроанализе;
33. Выбор условий проведения измерений волновым дифракционным методом, их влияние на ошибки и погрешности измерений;

34. Особенности волнового дифракционного микроанализа элементов-примесей и легких элементов;
35. Эффекты химического и кристаллохимического сдвига эмиссионных линий характеристического излучения: природа явления, влияние на результаты измерений в волновом дифракционном анализе;
36. Негативные воздействия электронного зонда на образцы: следствия для микроанализа и способы минимизации;
37. Порядковые линии характеристического излучения в волновом дифракционном анализе, причины их возникновения и использование для измерений;
38. Инфракрасная и Рамановская (КР) спектроскопия: принципы и методы;
39. Спектры комбинационного рассеяния: принципы получения и применения для решения геологических задач;
40. Использование Рамановской (КР) спектроскопии для качественного и полуколичественного анализа кристаллических фаз и стекол;
41. Принципы и разновидности методов масс-спектрометрии;
42. Масс-спектрометрия в индуктивно-связанной плазме: принципы и возможности метода;
43. Ограничения масс-спектрометрии в индуктивно-связанной плазме;
44. Применение масс-спектрометрии в индуктивно-связанной плазме для анализа элементов-примесей;
45. Применение масс-спектрометрии в индуктивно-связанной плазме для анализа изотопного состава;
46. Лазерная абляция и масс-спектрометрия в индуктивно-связанной плазме: особенности и ограничения метода.

#### **Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.**

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: принципы, условия и границы применения основных методов локального изучения состава и строения вещества	Знания отсутствуют.	Фрагментарные знания.	Общие, но не структурированные знания.	Систематические знания.
Умения: в зависимости от конкретных научных или производственных целей и задач подбирать методологическую схему и методики исследований вещества природных объектов и экспериментально	Умения подбирать методологическую схему исследования материала и корректно обрабатывать и интерпретировать аналитические данные отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение подбирать методологическую схему исследования материала и корректно обрабатывать и интерпретировать аналитические	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение подбирать методологическую схему исследования материала и корректно обрабатывать и интерпретировать	Успешное умение подбирать методологическую схему исследования материала и корректно обрабатывать и интерпретировать аналитические данные.

полученных материалов, грамотно производить отбор проб (образцов) вещества для осуществления конкретных исследований, корректно обрабатывать и интерпретировать получаемые аналитические данные		данные, допускает неточности неприципиального характера	аналитические данные.	
Владения: навыками инструментальной работы, основными методами математической и статистической обработки результатов инструментальных измерений	Навыки владения основными методами обработки результатов инструментальных измерений отсутствуют.	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков обработки результатов инструментальных измерений.	В целом сформированные навыки владения основными методами обработки результатов инструментальных измерений.	Владение основными методами обработки результатов инструментальных измерений.

## 8. Ресурсное обеспечение:

### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

#### - основная литература:

- 1) Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ: В 2-х книгах. Дж. Гоулдстейн, Д. Ньюбери, П. Эчлин и др. – М.: Мир, 1984.
- 2) Количественный электронно-зондовый микроанализ. Под ред. В. Скотта и Г. Лава. М.: Мир, 1986. 352 с.
- 3) Методы петрологических исследований Шур М.Ю., Носова А.А., Ширяев А.А., Сафонов О.Г., Япаскерт В.О., Перчук А.Л. М.: ИНФРА-М, 2014. — 104 с.

#### - дополнительная литература:

- 1) Рид С.Дж.Б. Электронно-зондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии. – М.: ЗАО «РИЦ «Техносфера», 2008. 229 с.

### Б) Перечень программного обеспечения: Microsoft Office PowerPoint

### В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

### Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

Геологическая энциклопедия GeoWiki - <http://wiki.web.ru>.

### Д) Материально-техническое обеспечение:

- а) помещение – аудитория, рассчитанная на группу из 15 учащихся; лаборатория электронной микроскопии и электроннозондового микроанализа – для проведения лабораторных занятий;
- б) оборудование – мультимедийный проектор, компьютер, экран, выход в Интернет; сканирующий электронный микроскоп с вольфрамовым термоэмиссионным катодом, измерителем тока и приставками для энергодисперсионного и волнового дифракционного

микроанализа, либо электронно-зондовый микроанализатор; камера дифракции обратно рассеянных электронов; микро-Рамановский спектрометр с конфокальным оптическому микроскопу лазером (красный и зелёный участки спектра).

в) иные материалы – – демонстрационные образцы микроскопических кристаллических фаз и минералов, полированных пластин и полированных петрографических шлифов (на эпоксидной смоле горных) пород; вспомогательное оборудование и материалы для нанесения токопроводящих покрытий на образцы с диэлектрическими свойствами, предназначенные для электронно-микроскопических и электронно-зондовых исследований; наборы стандартных образцов для электронно-зондового микроанализа.

**9. Язык преподавания** – русский.

**10. Преподаватель (преподаватели)** – – Зиновьева Н.Г., Япаскурт В.О.

**11. Разработчик программы** – зав.лаб. Зиновьева Н.Г., в.н.с. Япаскурт В.О.