

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

полезных ископаемых и недропользования



К.А. Савко

подпись

___.___.2018г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.15 Электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ

1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:

05.03.01 Геология

2. Профиль подготовки/специализация: Геохимия

3. Квалификация (степень) выпускника: Бакалавр

4. Форма обучения: Заочная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра полезных
ископаемых и недропользования

6. Составители программы: Пилюгин Сергей Михайлович, кандидат геолого-
минералогических наук, доцент

7. Рекомендована: НМС геологического факультета, протокол №6 от 14.05.2018

8. Учебный год: 2021-2022

Семестр(ы): 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины: Целью преподавания дисциплины «Электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ» является подготовка бакалавров, владеющих знаниями о современных методах изучения геологических образцов.

Задачами курса являются:

- формирование у обучаемых представлений об основах растровой электронной микроскопии;
- получение обучаемыми знаний об определении химического состава минеральных фаз при различных исходных условиях;
- приобретение обучаемыми практических навыков в составлении карт распределения химических элементов в пределах участков образцов смешанного состава.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: блок Б1, вариативная часть. Для успешного освоения курса студентом должны быть освоены знания и умения, представляемые в объеме дисциплин Химия, Физика, Минералогия с основами кристаллографии, Методы минералогических исследований. Данная дисциплина предшествует следующим дисциплинам: Физико-химические методы исследования вещества, Лабораторные методы изучения пород и руд, Генетическая и поисковая минералогия.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ПК-2	способность самостоятельно получать геологическую информацию, использовать в научно-исследовательской деятельности навыки полевых и лабораторных геологических исследований	знать: основные закономерности развития и строения геологических тел уметь: системно и критически оценивать геологическую информацию владеть (иметь навык(и)): методами отбора представительных геологических образцов
ПК-5	готов к работе на современных полевых и лабораторных геологических приборах, установках и оборудовании	знать: физические закономерности природных процессов уметь: интерпретировать полевую и лабораторную информацию владеть (иметь навык(и)): методами обработки полевых и лабораторных данных

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 2 / 72.

Форма промежуточной аттестации зачет.

13. Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		№ семестра 7	№ семестра	...
Аудиторные занятия	14	14		
в том числе: лекции	8	8		
практические	6	6		
лабораторные				
Самостоятельная работа	54	54		
Форма промежуточной аттестации (зачет – 4 час.)	4	4		
Итого:	72	72		

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела	Содержание раздела дисциплины
-----	----------------------	-------------------------------

дисциплины		
1. Лекции		
1.1	Введение	Рентгеноспектральный микроанализ и растровая электронная микроскопия (РЭМ). Использование РЭМ для анализа. Применение растрового электронного микроскопа в геологии. Сопоставимые методы.
1.2	Взаимодействие электронов с мишенью и возбуждение рентгеновского излучения	Структура атома. Характеристический рентгеновский спектр. Ионизация внутренних уровней. Оже-эффект и выход флуоресценции. Непрерывный рентгеновский спектр. Неупругое взаимодействие. Упругое рассеяние. Вторичная электронная эмиссия. Катодолюминесценция. Нагрев образца.
1.3	Электронно-оптическая колонна	Электронная пушка. Электромагнитные линзы. Диаметр пучка и ток. Юстировка колонны. Регулировка тока пучка. Столик образца. Оптический микроскоп. Вакуумная система. Сканирование. Детекторы электронов. Другие типы детекторов.
1.4	Рентгеновские спектрометры	Спектрометры с энергетической дисперсией. Спектрометры с волновой дисперсией. Сравнение ЭД и ВД спектрометров.
1.5	Количественный рентгеноспектральный анализ	Количественный рентгеноспектральный анализ с ВД. Количественный рентгеноспектральный анализ с ЭД. Учет матричных эффектов. Программы расчета поправочных факторов на ЭВМ. Стандарты. Выбор условий количественного анализа. Количественный анализ: особые случаи. Определение легких элементов. Определение валентных состояний.
1.6	Сходимость результатов рентгеноспектрального анализа и обработка результатов	Погрешность измерения интенсивностей. Предел обнаружения. Погрешность поправок на матричные эффекты. Влияние проводящего покрытия. Влияние грубой поверхности и пористости. Разрушение образца под действием зонда. Гомогенность. Краевые эффекты. Формы представления результатов.
1.7	Пробоподготовка	Пробоподготовка материала образца. Сплавление порошковых проб. Подготовка образца в виде оксидного блока. Полировка. Травление. Напыление проводящего покрытия. Маркировка образцов. "Карта" образца. Хранение и уход за образцами.
2. Практические занятия		
2.1	Растровая электронная микроскопия	Увеличение и разрешение изображения с РЭМ. Фокусировка. Шумы на изображениях РЭМ. Цифровые изображения. Топография образца. Изображения отражающие состав образца. Различные способы улучшения изображений. Другие типы изображений.
2.2	Карты распределения элементов	Точечные карты в рентгеновских лучах. Цифровое картирование. Картирование с помощью ЭДС. Картирование с помощью ВДС. Вычитание фона. Картирование по данным количественного РСМА. Статистика и шумы в картировании. Обработка и анализ изображений. Модальный анализ. Цветные карты. Линейное сканирование.
2.3	Качественный рентгеноспектральный анализ	Рентгеновские спектры чистых элементов. Идентификация пиков в спектрах с ЭД. Идентификация пиков в спектрах с ВД. Идентификация минералов

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Введение	1			5	6
2	Взаимодействие электронов с мишенью и возбуждение рентгеновского излучения	1			6	7

3	Электронно-оптическая колонна	1			6	7
4	Рентгеновские спектрометры	1			5	6
5	Растровая электронная микроскопия		2		5	7
6	Карты распределения элементов		2		5	7
7	Качественный рентгеноспектральный анализ (РСМА)		2		5	7
8	Количественный рентгеноспектральный анализ (РСМА)	2			5	7
9	Сходимость результатов рентгеноспектрального анализа и обработка результатов	1			6	7
10	Пробоподготовка	1			6	7
	Итого:	8	6		54	68

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В рамках дисциплины предусмотрены следующие образовательные технологии: занятия лекционного типа, практические занятия, самостоятельная работа студентов, включающая усвоение теоретического материала, работа с учебниками, учебно-методической литературой, подготовка к текущему контролю успеваемости, к зачету, а также консультирование студентов по вопросам поиска научной информации, изучения учебного материала и практического решения задач. Чтение лекций осуществляется с презентацией основных материалов на мультимедийном оборудовании, что значительно повышает зрелищность, показательность и усвоение материала. На практических занятиях рассматриваются определенные разделы дисциплины, требующие математических расчетов, детального анализа диаграмм и графиков, графических работ. После проведения аудиторных занятий презентации на соответствующие темы выкладываются на образовательном портале ВГУ в рамках одноименного электронного курса. На практических и лабораторных занятиях рассматриваются определенные разделы дисциплины, требующие математических расчетов, детального анализа диаграмм и графиков, графических работ. Для успешного овладения курсом необходимо обязательно посещать все занятия. В случаях пропуска занятия студенту необходимо самостоятельно изучить материал и ответить на контрольные вопросы по пропущенной теме, в том числе на образовательном портале ВГУ (<https://edu.vsu.ru>). В ходе занятий обучающимся рекомендуется: вести конспектирование учебного материала; обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации по их применению; задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений.

На образовательном портале «Электронный университет ВГУ» имеется электронный курс «Электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ», где присутствуют иллюстрированные тексты лекций, указания к выполнению практических работ, ссылки на дополнительную литературу.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	<i>Количественный электроннозондовый микроанализ / [Т. Малви, В.Д. Скотт, С. Дж. Б.Рид и др.]; Под ред. В. Скотта, Г. Лава; Перевод с англ. [и предисл.] А. И. Козленкова. — М. : Мир, 1986. — 351, [1] с.</i>
2	<i>Рид С. Дж. Б. Электроннозондовый микроанализ и растровая электронная микроскопия в геологии / С. Дж. Б. Рид ; пер. с англ. Д. Б. Петрова [и др.] .— Москва : Техносфера, 2008. — 229 с. https://www.studmed.ru/rid-sdzhb-elektronno-zondovyy-mikroanaliz-i-rastrovaya-elektronnaya-mikroskopiya-v-geologii_a723c71eb5a.html</i>

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	<i>Jercinovic, M. J. and Williams, M. L. (2005) Analytical perils (and progress) in electron microprobe trace element analysis applied to geochronology: Background acquisition, interferences, and beam irradiation effects. Amer. Mineral. 90 526-46.</i>
4	<i>Laubach, S. E., Reed, R. M., Olson, J. E., Lander, R. H. and Bonnell, L. M. (2004) Coevolution of crack-seal texture and fracture porosity in sedimentary rocks: cathodoluminescence observations of regional fractures. J. Struct. Geol. 26 967-82.</i>

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
1.	Неофициальный сервер геологического факультета МГУ (geo.web.ru)
2.	Википедия - свободная энциклопедия (ru.wikipedia.org)

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	<i>Электроннозондовые методы изучения минералов : руководство к лаборатор. занятиям / В.К. Гаранин [и др.] .— М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1987 .— 139 с.</i>
2	<i>Физико-химические методы исследования вещества : учебно-методическое пособие для вузов : [для студ. 1 к. геол. фак. очной формы обуч. направления 020700 - Геология] / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: В.С. Кузнецов, В.В. Абрамов, М.В. Рыборак [и др.] ; науч. ред. Н.М. Чернышов .— Воронеж : Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2013 .— 56 с. : ил., табл. — Библиогр.: с. 55-56.</i>
3	<i>Растровая электронная микроскопия [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для вузов : [для студ. естеств.-науч. фак., обучающихся по направлению подготовки: 210100 - Электроника и наноэлектроника; 011200 - Физика; 020300 - Химия, физика и механика материалов; 020700 - Геология; 020400 - Биология] / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: Б.Л. Агапов, Т.В. Куликова .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 .</i>

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

№пп	Программное обеспечение
1	WinPro 8 RUS Upgrd OLP NL Acdmc
2	OfficeSTD 2013 RUS OLP NL Acdmc
3	Неисключительные права на ПО Kaspersky Endpoint Security для бизнеса – Расширенный Russian Edition
4	Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах Антиплагиат.ВУЗ

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

№ аудитории	Адрес	Название аудитории	Тип аудитории	Материально-техническое обеспечение
7	г.Воронеж, Университетская пл.1, корпус 1Б	Лаборатория физико-химических методов исследования	лаборатория	Растровый электронный микроскоп JEOL 6380LV с системой количественного энергодисперсионного анализа INCA-250
202п	г.Воронеж, Университетская пл.1, корпус 1Б		аудитория семинарского типа	Ноутбук 15" Acer Aspire 5920G, LCD-проектор Benq MP510, телевизор PHILIPS

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС* (средства оценивания)
ПК-2 способность самостоятельно получать геологическую информацию, использовать в научно-исследовательской деятельности навыки полевых и лабораторных геологических исследований	Знать: основные закономерности развития и строения геологических тел	Разделы 1-10	Доклады Фонд тестовых заданий
	Уметь: системно и критически оценивать геологическую информацию		
	Владеть: методами отбора представительных геологических образцов		
ПК-5 готов к работе на современных полевых и лабораторных геологических приборах, установках и оборудовании	Знать: физические закономерности природных процессов		
	Уметь: интерпретировать полевую и лабораторную информацию		
	Владеть: методами обработки полевых и лабораторных данных		
Промежуточная аттестация			КИМ

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели:

- 1) знание учебного материала и владение понятийным аппаратом в области исследования геологических образцов современными методиками электронной микроскопии;
- 2) умение связывать теорию с практикой исследования образцов горных пород и минералов;
- 3) умение иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;
- 4) умение применять теоретические знания для решения практических задач (качественное и количественное определение минералов).

Для оценивания результатов обучения на зачете используется – зачтено, не зачтено
Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
<i>Полное соответствие ответа обучающегося всем перечисленным критериям. Продемонстрированы знания по РЭМ, умение использовать полученные знания на практике (пересчет химических составов), владение материалом.</i>	<i>Высокий уровень</i>	<i>Зачтено</i>
<i>Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует перечисленным показателям. Демонстрируются частичные знания.</i>	<i>Низкий уровень</i>	<i>Не зачтено</i>

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Перечень вопросов к зачету:

Номер вопроса	Содержание вопроса
1	Рентгеноспектральный микроанализ и растровая электронная микроскопия (РЭМ). Использование РЭМ для анализа.
2	Применение растрового электронного микроскопа в геологии. Сопоставимые методы.
3	Структура атома. Характеристический рентгеновский спектр.
4	Ионизация внутренних уровней. Оже-эффект и выход флуоресценции. Непрерывный рентгеновский спектр.
5	Неупругое взаимодействие. Упругое рассеяние. Вторичная электронная эмиссия. Католюминесценция. Нагрев образца.
6	Электронная пушка. Электромагнитные линзы. Диаметр пучка и ток.
7	Юстировка колонны. Регулировка тока пучка. Столик образца. Оптический микроскоп. Вакуумная система.
8	Сканирование. Детекторы электронов. Другие типы детекторов.
9	Спектрометры с энергетической дисперсией.
10	Спектрометры с волновой дисперсией.
11	Сравнение ЭД и ВД спектрометров.
12	Увеличение и разрешение изображения с РЭМ. Фокусировка. Шумы на изображениях РЭМ. Цифровые изображения.
13	Топография образца. Изображения отражающие состав образца. Различные способы улучшения изображений. Другие типы изображений.
14	Точечные карты в рентгеновских лучах. Цифровое картирование. Картирование с помощью ЭДС. Картирование с помощью ВДС. Вычитание фона.
15	Картирование по данным количественного РСМА. Статистика и шумы в картировании. Обработка и анализ изображений. Модальный анализ. Цветные карты. Линейное сканирование.
16	Рентгеновские спектры чистых элементов. Идентификация пиков в спектрах с ЭД.
17	Идентификация пиков в спектрах с ВД. Идентификация минералов.
18	Количественный рентгеноспектральный анализ с ВД.
19	Количественный рентгеноспектральный анализ с ЭД.
20	Учет матричных эффектов. Программы расчета поправочных факторов на ЭВМ.
21	Стандарты. Выбор условий количественного анализа.
22	Количественный анализ: особые случаи. Определение легких элементов. Определение валентных состояний.
23	Погрешность измерения интенсивностей. Предел обнаружения. Погрешность поправок на матричные эффекты. Влияние проводящего покрытия. Влияние грубой поверхности и пористости.
24	Разрушение образца под действием зонда. Гомогенность. Краевые эффекты. Формы представление результатов.
25	Пробоподготовка материала образца. Сплавление порошковых проб. Подготовка образца в виде эпоксидного блока. Полировка. Травление.
26	Напыление проводящего покрытия. Маркировка образцов. "Карта" образца. Хранение и уход за образцами.

19.3.2 Перечень практических заданий**Темы докладов**

- 1) Применение растрового электронного микроскопа в геологии. Сопоставимые методы.
- 2) Сканирование. Детекторы электронов. Другие типы детекторов.
- 3) Спектрометры с энергетической дисперсией (ЭД). Устройство, особенности, результаты исследований.
- 4) Спектрометры с волновой дисперсией (ВД). Устройство, особенности, результаты исследований.
- 5) Рентгеновские спектры чистых элементов. Идентификация пиков в спектрах с ЭД.
- 6) Идентификация пиков в спектрах с ВД. Идентификация минералов.
- 7) Стандарты. Выбор условий количественного анализа.
- 8) Количественный анализ: особые случаи. Определение легких элементов.
- 9) Погрешность измерения интенсивностей. Предел обнаружения. Погрешность поправок на матричные эффекты.

- 10) Пробоподготовка материала образца.
11) Устройство растрового электронного микроскопа.

Фонд тестовых заданий

1. Дайте определение «сканирующий (растровый) электронный микроскоп».
2. Максимальное увеличение в РЭМ: а) 500 раз; б) 5 000 раз; в) 50 000 раз; г) 500 000 раз.
3. Максимальное разрешение в РЭМ: а) 1 нм; б) 10 нм; в) 1 мкм; г) 1 мм.
4. Что является источником электронов в РЭМ?
5. С помощью чего происходит фокусировка электронного пучка: а) магнитная линза; б) объективная линза; в) конденсорная линза; г) а+б; д) б+в; е) все перечисленные.
6. Укажите наиболее используемый диапазон ускоряющих напряжений при работе с РЭМ: а) 1-5 кВ; б) 5-30 кВ; в) 10-15 кВ; г) 15-20 кВ.
7. На какую предельную глубину поверхности образца проникает пучок направленных электронов: а) 1 мкм; б) 5 мкм; в) 25 мкм; г) 2 мм.
8. BSE и SE это...
9. В чем отличие энергодисперсионного от волнодисперсионного детектора?
10. Можно ли в РЭМ исследовать диэлектрики: а) да; б) нет; в) только после предварительной обработки (напыления).
11. Качественный энергодисперсионный анализ это: а) получение спектральных линий «чистых» элементов; б) определение валового содержания заданного элемента; в) определение элементов-примесей в образце; г) все вышеперечисленное.
12. Что используется в качестве эталонов в РЭМ при химическом анализе?
13. Показателем точности энергодисперсионного и волнодисперсионного анализа является: а) фиро-зет; б) сигма; в) среднее арифметическое; г) отношение пик/фон.
14. В каких единицах выводится химический анализ сульфидов: а) в атомных процентах; б) в весовых процентах; г) по стехиометрии.
15. Объясните характер занижения реальных сумм химических элементов при анализе гидроокислов и карбонатов.
16. Картирование в РЭМ это: а) составление геологической карты; б) составление координатной схемы образца; в) изучение химических неоднородностей образца.
17. Главными условиями получения качественных изображений в РЭМ являются: а) полированная поверхность; б) напыленная углеродом поверхность; в) напыленная золотом поверхность; г) отсутствие внешних помех (магнитных и электромагнитных наводок, вибраций и пр.); д) стабильность работы вакуумной системы.
18. Перечислите основные области применения РЭМ.
19. Нарисуйте схему строения РЭМ.

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

В рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме *устного опроса (доклады)*. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используется качественная шкала оценок. Критерии оценивания приведены выше.