«ОДОБРЕНО»

Ученым советом ИГЕМ РАН
Протокол № 4 от 23.03.2022
Председатель Ученого совета
чл.-корр. РАН В.А.Петров

«УТВЕРЖДАЮ»

директор ИГЕМ РАН
чл.-корр. РАН
В.А.Петров
«__» __________2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1. **Код и наименование дисциплины (модуля):** Методы исследования состава и структуры минеральных фаз.
2. **Уровень высшего образования:** подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре.
3. **Научная специальность:** 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».
4. **Место дисциплины (модуля) в структуре программы аспирантуры:** В – дисциплины (модули), вариативная часть.
5. **Объем дисциплины (модуля)** составляет 6 зачетных единиц, всего 216 академических часов, из которых 36 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (12 часа занятий лекционного типа) и 180 часов составляет самостоятельная работа аспиранта (выполнение домашних заданий и написание реферата).
6. **Входящие требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия:**

ЗНАТЬ: физические основы аналитических методов; области применения современных аналитических методов и их возможностей на конкретных примерах минералогических исследований; технические требования к пробоподготовке;

УМЕТЬ: проводить комплексные петрологического, геохимические и минералогические исследования; работать с литературными источниками и базами аналитических данных в различных геологических науках;

ВЛАДЕТЬ: владеть навыками работы с оптическими и электронными микроскопами, рентгеновскими дифрактометрами, а также базовыми компьютерными программами для обработки данных химического элементного состава минералов, данных рентгенофазового анализа.

7. **Образовательные технологии:** классические лекционные технологии / дистанционные технологии.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и вида учебных занятий:

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (во взаимодействии с преподавателем), часы из них						Самостоятельная работа обучающегося, часы из них		
		Л	**С**	**ГК**	**ИК**	**ТК**	**Всего**	**СР**	**П**	**Всего**
ХИМИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АНАЛИТИКИ, АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ	36	2	4				6	24	6	30
ЭЛЕКТРОННО-ЗОНДОВЫЙ (РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫЙ) МИКРОАНАЛИЗ	36	2	4				6	24	6	30
ЛОКАЛЬНАЯ КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ	36	2	4				6	24	6	30
ВТОРИЧНО-ИОННАЯ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ	36	2	4				6	24	6	30
МИКРОАНАЛИЗ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЯ С ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМОЙ И ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМОЙ ИСПАРЕНИЯ ВЕЩЕСТВА С ТВЕРДОЙ ПОВЕРХНОСТИ (LAM-ICP-MS)	36	2	4				6	24	6	30
РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ	36	2	4				6	24	6	30
Промежуточная аттестация, зачет										
Итого:	**216**	12	24				36	144	36	180

Л - занятия лекционного типа; С - занятия семинарского типа; ГК - групповые консультации; ИК - индивидуальные консультации; ТК - учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, практические контрольные занятия и др); СР - самостоятельнаяработа аспиранта, включая выполнение домашних заданий; П - подготовка рефератов и т.п.

9. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы аспирантов: файлы презентаций лекций, основная, дополнительная и учебная литература (см. п. 10).

10. Ресурсное обеспечение:

Основная литература:

1. Синдо Д., Оикава Т. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия. Перевод с англ. / М. Техносфера, 2006, стр. 219–224.
2. J. Application of Cathodoluminescence Microscopy and Spectroscopy in Geosciences. Microsc. Microanal. 18, 1270–1284, 2012

Дополнительная литература:

1. Гоулдстейн Дж., Ньюбери Д., Эчлин П., Джой Д., Фиори Ч., Лифшин Э. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский анализ. Перевод с англ. /. М. Мир, 1984, Книга 1, стр. 98-189.
2. Основы аналитической электронной микроскопии / Под ред. Грена Дж.Дж., Гольдштейна Дж.И., Джоя Д.К., Ромига А.Д. Перевод с англ. М. «Металлургия», 1990, стр. 12-37.
3. Количественный электронно-зондовый микроанализ / Под ред. В. Скотта, Г. Лава; Перевод с англ. А. И. Козленкова, М. Мир, 1986, 351 с.
4. Мак-Хью И.А. Вторично-ионная масс-спектрометрия: В кн. Методы анализа поверхности. / Пер с англ. М.: Мир, 1979. - с. 276-342.
5. Jackson S.E., Longerich H.P., Dunning G.R., Fryer B.J., The application of laser ablation microprobe inductively coupled plasma mass spectrometry (LAM-ICP-MS) to in situ trace-element determination in minerals, Can. Mineral., 30, 1992, p. 1049-1064.
6. Pearce N.G.J., Perkins W.T., Abell l., Duller G.A., Fuge R., Mineral microanalysis by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry, J. Anal. At. Spectrom., 7, 1992, p. 53-57.
7. Shimizu, N. Hart, S.R., 1982. Application of the ion microprobe to geochemistry and cosmochemistry. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 10, 483–526.
8. Васичев Б.Н. Электронно-зондовый микроанализ тонких плёнок, М., "Металлургия 1977, 239 с.
9. Рид. Электронно-зондовый микроанализ. М. "Мир 1979, 423 с.
10. Brooks, R.J., Finch, A.A., Hole, D.E., Townsend, P.D., Wu, Z.-L. (2002) The red to nearinfrared luminescence in alkali feldspar. Contrib. Mineral. Petrol. 143: 484-494.
11. Götze, J., Habermann, D., Kempe, U., Neuser, R.D., Richter, D.K. (1999d): Cathodoluminescence microscopy and spectroscopy of plagioclases from lunar soil (Luna20, Luna 24). Amer. Miner. 84: 1027-1032.
12. Krbetschek, M.R., Götze, J., Irmer, G., Rieser, U., Trautmann, T. (2002) The red luminescence emission of feldspar and its wavelength dependence on K, Na, Ca - composition. Mineralogy and Petrology 76: 167-177.
13. Mora, C.I. and Ramseyer, K. (1992): Cathodoluminescence of coexisting plagioclases, Boehls Butte anorthosite: CL activators and fluid flow paths. Amer. Miner. 77: 1258-1265.
14. White, W.B., Masako, M., Linnehan, D.G., Furukawa, T., Chandrasekhar, B.K. (1986): Absorption and luminescence of Fe3+ in single-crystal orthoclase. Amer. Miner. 71: 1415-1419.
15. Лапина М.И, Мохов А.В. Методика подготовки эталонов для просвечивающей, растровой электронной микроскопии и микрозондового анализа. Изв. АН России, сер. физическая, 1995, 59, 2, 38-41.
16. Cliff G., Lorimer G. W. The quantitative analysis of thin specimen. J. Microscopy, 1975, 103, p. 203-207.
17. Statham P.G., Pawley J.B. A new metod for particle analysis based of peak-to-background ration, Microbeam Analysis, 1979, p.247-254.

Рекомендуемые периодические издания:

1. Геология рудных месторождений (Изд. МАИК «Наука»)
2. Геохимия (Изд. МАИК «Наука»)
3. Петрология (Изд. МАИК «Наука»)
4. American Mineralogist (Mineralogical Society of America)
5. Canadian Mineralogist (Mineralogical Association of Canada)
6. Contributions to Mineralogy and Petrology (Springer Link)
7. Mineralogy and Petrology (Springer Link)
8. Кристаллография (Изд. МАИК «Наука»)

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»: Базы данных и ресурсы, доступ к которым обеспечен из внутренней сети ИГЕМ РАН: elibrary.ru с доступом к электронному каталогу и базам данных из сети Интернет, с индивидуальными параметрами входа обучающегося; Электронная информационно-образовательная среда ИГЕМ РАН.

Описание материально технической базы: Необходимый аудиторный фонд предоставлен аудиторией ИГЕМ РАН, оснащенной необходимым компьютером, проектором и экраном для проведения лекционных занятий. Для проведения семинаров и самостоятельных работ используются аналитические лаборатории, позволяющие вести комплексные исследований по направленности программы.

12. Язык преподавания: русский.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

оценки результатов обучения по дисциплине (модулю) «Методы исследования состава и структуры минеральных фаз»

Итоговый контроль: дифференцированный зачёт (в форме оценки реферата).

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) «Методы исследования состава и структуры минеральных фаз»

Реферат – продукт самостоятельной работы аспиранта, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различныеточки зрения, а также собственные взгляды на нее.

Реферат состоит из 3-х частей:

1. введение (обоснование выбора темы, ее актуальность, основные цели и задачи исследования);
2. основная часть (суть исследуемой проблемы, оценка существующих в литературе основных теоретических подходов к ее решению, изложение собственного взгляда на проблему и пути ее решения и т.д.);
3. заключение (краткая формулировка основных видов и результатов, полученных в ходе исследования).

Объем работы 25-30 страниц (формат А4) печатного текста (шрифт 12, Times New Roman, через 1,5 интервала, поля: верхнее и нижнее – 2 см, левое – 2,5 см, правое – 1,5 см.). Текст может быть иллюстрирован таблицами, графиками, диаграммами, причем наиболее ценными из них являются те, что самостоятельно составлены автором. Громоздкие иллюстративные материалы должны даваться в составе приложения (Объем прилож ений не ограничивается, но в общий объем работы не засчитывается).

Необходимой частью реферата является список литературы, использованной в ходе работы над выбранной темой. Список составляется в соответствии с правилами библиографического описания.

Реферат представляется на рецензирование в печатном и электронном виде. Реферат рецензируется преподавателем дисциплины (модуля).

Оценка реферата – дифференцированная в зависимости от степени соответствия реферата установленным критериям (см. ниже).

Критерии оценки реферата:

Характеристика балльной системы:

п.п.	Критерии	Показатель
1	Актуальность темы	
2	Имеется ли научная проблема в формулировке и постановке темы исследования	
3	Дан ли обзор научной литературы по теме (наличие ссылок на работы российских и зарубежных ученых)	
4	Наличие теоретической базы исследования	
5	Показана ли взаимосвязь теоретических аспектов темы с российской (международной) практикой	
6	Имеется ли статистическая информация по теме, самостоятельно обобщенная автором (таблицы, графики, расчеты и др.)	
7	Насколько развернуто и полно представлена библиография по теме	
8	Присутствуют ли собственные оценки, позиция автора по аспектам исследования	

Показатели: 0 баллов – полное отсутствие критерия; 1 балл – частичное выполнение критерия; 2 балла – полное выполнение критерия.

Реферат считается принятым при количестве баллов более 7. Оценка «отлично» присуждается при количестве баллов от 14 до 16; оценка «хорошо» – при количестве баллов от 11 до 13; оценка «удовлетворительно» – при количестве баллов от 8 до 10, включительно.

Если по теме дисциплины (модуля) у аспиранта имеется опубликованная/принятая в печать научная публикация в периодических журналах списка ВАК и (одновременно) базы данных Web of Science, то, при предъявлении оригинала публикации, аспирант освобождается от написания реферата и ему присуждается оценка «отлично».

Примеры тем рефератов:

1. Основные способы возбуждения образцов.
2. Основные физические эффекты, использующиеся для регистрации отклика от образца.
3. Картины электронной дифракции рентгеноаморфных образцов.
4. Зона рентгеновского возбуждения в образце.
5. Эффект муара на электронно-микроскопических снимках.
6. Достоинства и недостатки ЭДС и волнового спектрометров.
7. Результаты количественного электронно-зондового микроанализа.
8. Эффект вторичной дифракции.
9. Основные свойства энергодисперсионных и волновых спектрометров.
10. Коррекция ZAF. PhyRoZet- метод.
11. Катодолюминесценция.
12. Параметры электронного пучка (ускоряющее напряжение, ток) используемые для исследования образца методом локальной катодолюминесценции.
13. Получение спектра катодолюминесценции.
14. Сравнительная характеристика микроанализа методом вторично-ионной масс-спектрометрии и LAM-ICP-MS: чувствительность, локальность, анализируемые элементы.

ПРОГРАММА

дисциплины (модуля) «Методы исследования состава и структуры минеральных фаз»

Раздел 1. Химические и физические основы аналитики. Общие принципы функционирования аналитической аппаратуры. Возбуждение образца и аналитический отклик. Предел обнаружения и точность измерения.

Раздел 2. Аналитическая электронная микроскопия

Тема 1. Сканирующая электронная микроскопия. Физические основы. Вторичные, отражённые электроны и характеристическое рентгеновское излучение. Устройство и работа сканирующего электронного микроскопа и его детекторов. Подготовка объектов для исследования. Проблемы количественного анализа.

Тема 2. Просвечивающая электронная микроскопия. Физические основы. Проходящие, отражённые электроны и характеристическое рентгеновское излучение. Дифракция электронов. Устройство и работа просвечивающего электронного микроскопа и его детекторов. Подготовка объектов для исследования. Микродифракционные картины, и их интерпретация. Программы расчёта. Картины высокого разрешения. Программы обработки. Высоколокальный качественный и количественный элементный анализ.

Раздел 3. Электронно-зондовый (рентгеноспектральный) микроанализ

Тема 1. Физические основы рентгеноспектрального микроанализа.

Тема 2. Устройство и работа рентгеноспектрального микроанализатора. Электронная оптика. Рентгеновская оптика. Рентгеноспектральные детекторы энергодисперсионные и волновые, кристаллы-анализаторы. Шлюзование. Компьютерное управление спектрометрами и перемещением образцов.

Тема 3. Подготовка объектов для исследования.

Тема 4. Проблемы количественного анализа. Наложение линий характеристического рентгеновского излучения. Матричные эффекты Матричные эффекты и коррекция ZAF. Калибровка и требования к стандартам.

Раздел 4. Локальная катодолюминесценция

Тема 1. Физическая природа катодолюминесценции. Возбужденное электронное состояние и излучение фотона. Типы катодолюминесценции по природе основного и возбужденного состояния.

Тема 2. Оборудование для локальной катодолюминесценции. Использование рентгеноспектрального микроанализатора. Оптическая фиксация, оптический спектрометр.

Тема 3. Минералогическое и петрологическое применение локальной катодолюминесценции.

Раздел 5. Вторично-ионная масс-спектрометрия

Тема 1. Физические основы вторично-ионной масс-спектрометрии. Взаимодействие быстрых ионов с твердым телом. Вторичная ионная эмиссия

Тема 2. Оборудование для микроанализа методом вторично-ионной масс-спектрометрии. Источники первичных ионов. Система фокусировки пучка. Держатель образца. Линзы вторичных ионов. Масс-спектрометр. Высокочувствительная система регистрации ионов.

Тема 3. Подготовка объектов для исследования.

Тема 4. Особенности количественного анализа. Стандартизация рабочих параметров прибора. Нормировка интенсивностей и концентраций. Проблема геохимических стандартов. Возможность анализа легких элементов. Чувствительность, локальность и применимость метода в минералогии.

Раздел 6. Микроанализ масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой и лазерной системой испарения вещества с твердой поверхности (LAM-ICP-MS)

Тема 1. Физические основы метода LAM-ICP-MS.

Тема 2. Техника для анализа редких элементов методом LAM-ICP-MS.

Тема 3. Особенности количественного анализа методом LAM-ICP-MS.

Раздел 7. Рентгеноструктурный анализ

Тема 1. Дифракция рентгеновских лучей.

Тема 2. Устройство и работа порошкового и монокристального дифрактометров.

Тема 3. Подготовка объектов для исследования.

Тема 4. Рентгенограммы и рентгеновские спектры и их интерпретация. Программы расчёта.