

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого**  
**Уральского отделения Российской академии наук**  
**(ИГГ УрО РАН)**

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГГ УрО РАН

Д.Г.-м.н., профессор РАН

Д.А. Зедгенизов

«23» июня 2022 г.

М.П.



**Рабочая программа дисциплины**  
**МИНЕРАЛОГИЯ**

**основной образовательной программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.6.4. - Минералогия, кристаллография, геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых**

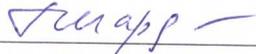
Екатеринбург

2022

Рабочая программа составлена на основании Федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, сроков освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 г. N 951), Приказом Минобрнауки РФ от 24.08.2021 г. № 786 «Об установлении соответствия направлений подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) научным специальностям, предусмотренным номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утвержденной приказом Минобрнауки РФ от 24.02.2021 г. № 118»; Приказом Минобрнауки РФ от 24.02.2021 г. № 118 «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденное приказом Минобрнауки РФ от 10.11.2017 г. №1093» и паспорта специальности научных работников 1.6.4. - Минералогия, кристаллография, геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Составитель рабочей программы

Ведущий научный сотрудник,

кандидат геолого-минералогических наук  Г.Ю. Шардакова

Рабочая программа одобрена Ученым Советом ИГГ УрО РАН

«22» июня 2022 г., протокол № 5.

Председатель Ученого Совета

д.г.-м.н., профессор РАН

 Д.А. Зедгенизов

## 1. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Данная дисциплина относится к модулю дисциплин программы аспирантуры по научной специальности 1.6.4. - Минералогия, кристаллография, геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, направленных на подготовку к сдаче кандидатского экзамена

## 2. Требования к уровню подготовки, необходимому для освоения курса

Базовые теоретические знания по кристаллографии, кристаллохимии, минералогии, а также физике, химии и математике в объеме вузовских курсов. Умения идентифицировать минералы по физическим, химическим, оптическим свойствам. Навыки работы с оптическими и электронными микроскопами, базовыми компьютерными программами для обработки данных рентгенофазового анализа, химического элементного состава минералов

## 3. Образовательные технологии

Семинарские занятия, индивидуальные консультации, самостоятельная работа

## 4. Объем дисциплины и ее структура

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачётных единиц (180 часов).

Наименования и краткое содержание разделов	Трудоемкость (ак. часы)		
	всего	в том числе	
		контактная работа (семинары, консультации)	самостоятельная работа аспирантов
1. Предмет минералогии. Исторические аспекты, основные понятия и процессы.	36	6	30
2. Классификация минералов. Диагностические свойства минералов, принципы современной классификации минералов. Классы, подклассы, группы минералов, минеральные виды и разновидности.	36	6	30
3. Генетическая минералогия, исследование парагенезисов минералов и эволюции минералогенеза в горных породах различного состава и генезиса. Минералогия земной коры и глубинных геосфер Земли. Минералогия месторождений металлического и неметаллического сырья.	54	9	45
4. Минералогия вземных объектов. Минералогия нетрадиционных и потенциально новых видов полезных ископаемых, синтез минералоподобных материалов. Техногенные минералы: процессы, происхождение, месторождения. Экологические аспекты техногенного минералообразования. Биоминералогия. Геоархеология.	18	3	15
5. Физика, химия и термодинамика минералов, современные физико-химические методы исследования минералов. Технологическая минералогия, минералогическое обеспечение работ по комплексному использованию минерального сырья, его обогащению и переработке	36	6	30
<b>Всего:</b>	<b>180</b>	30	150

Текущая аттестация – экзамен

## **5. Содержание дисциплины**

### ***Раздел 1. Предмет минералогии. Исторические аспекты, основные понятия и процессы***

1. Предмет минералогии. Основные понятия, исторические этапы развития. Физические свойства кристаллов и их зависимость от внутренней структуры вещества. Морфология минералов и минеральных агрегатов. Облик и габитус кристаллов.
2. Понятие об онтогении минералов. Физические свойства минералов. Связь физических свойств с составом, структурой и условиями образования минералов (типоморфизм). Природа окраски минералов.
3. Химический состав минералов. Минералы как многокомпонентные системы переменного состава. Типы химической связи в минералах (ионная, ковалентная, металлическая, межмолекулярная). Атомные и ионные радиусы. Координационные числа и координационные многогранники.
4. Совместный рост: геометрический отбор и индукционные поверхности кристаллов. Явления перекристаллизации, отражение стадийности минералообразующего процесса, генерации минералов. Эволюция минеральных парагенезисов. Фазовые превращения: кинетика, механизмы. Явления упорядочивания и разупорядочивания структур. Распад твердых растворов. Субсолидусные превращения в силикатных и сульфидных системах. Рост кристаллов в стесненных условиях, неравномерное питание растущих граней.
5. Структурное упорядочение. Твердые растворы и их распад. Смешаннослойные структуры. Метамиктные минералы. Аморфное, стеклообразное и коллоидное состояние вещества.
6. Понятие о процессах минералообразования: магматическом: пегматитовом, пневматолитовом, гидротермальном, метаморфическом, метасоматическом, гипергенном. Распространенность минералов в земной коре и мантии. Подразделение минералов на породо- и рудообразующие, акцессорные, редкие и вторичные.

### ***Раздел 2. Классификация минералов. Диагностические свойства минералов, принципы современной классификации минералов. Классы, подклассы, группы минералов, минеральные виды и разновидности***

1. Принципы, лежащие в основах современных классификаций минералов. Кристаллохимическая систематика минералов. Процедура описания минералов (химический состав с указанием формулы и важнейших примесей, особенности кристаллической структуры, форма выделения, главные физические свойства и диагностические признаки, условия нахождения в природе).
2. Химический состав, структура, формы выделения, физические свойства, генетические признаки самородных элементов, металлов, полуметаллов, неметаллов. Общая характеристика и условия образования в природе.
3. Химический состав, структура, формы выделения, физические свойства, генетические признаки сульфидов, оксидов и гидроксидов. Сульфиды и их аналоги. Общая характеристика и условия образования в природе.
4. Химический состав, структура, формы выделения, физические свойства, генетические признаки галогенидов, карбонатов, сульфатов, фосфатов. Общая

характеристика и условия образования в природе. Карбонаты. Общая характеристика и условия образования в природе.

5. Химический состав, структура, формы выделения, физические свойства, генетические признаки солей кислородных кислот. Вольфраматы, молибдаты, хроматы, бораты. Общая характеристика и условия образования в природе. Бораты. Общая характеристика и условия образования в природе.
6. Химический состав, структура, формы выделения, физические свойства, генетические признаки силикатов. Современное представление о структурных типах силикатов. Представление о алюмо-, боро-, берилло-, титано- и цирконосиликатах. Основы современной кристаллохимической классификации силикатов.
7. Островные силикаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Распространённость в земной коре и мантии.
8. Цепочечные силикаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Особенности кристаллических структур пироксенов и пироксеноидов. Ленточные силикаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Подходы к современной классификации амфиболов.
9. Слоистые силикаты и алюмосиликаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Типы сеток в структуре слоистых силикатов (смешанослойные, с двухслойным, трехслойным четырехслойным пакетами.) Каркасные силикаты. Общая характеристика и условия образования в природе.
10. Каркасные алюмосиликаты без добавочных анионов: полевые шпаты (калиевые полевые шпаты; плагиоклазы; бариевые полевые шпаты - цельзиан, гиалофан), лейцит, поллукит, нефелин. Каркасные алюмо- и бериллосиликаты с добавочными анионами (гр. скаполита, канкринит, содалит, лазурит, гр. Гельвина). Водосодержащие каркасные алюмосиликаты без добавочных анионов (цеолиты). Распространённость в земной коре.

***Раздел 3. Генетическая минералогия, исследование парагенезисов минералов и эволюции минералогенеза в горных породах различного состава и генезиса. Минералогия земной коры и глубинных геосфер Земли. Минералогия месторождений металлического и неметаллического сырья***

1. Мантийные парагенезисы, кристаллизация минералов из ультраосновных расплавов, ликвация и эволюция сульфидных расплавов. Кристаллизация шпинелидов – типохимизм и основные тренды. Сульфидно-оксидная минерализация в расслоенных и дифференцированных габброидных массивах.
2. Типохимизм минералов основных и средних эффузивных пород различных обстановок. Минеральные ассоциации щелочных и ультращелочных комплексов, тренды изменения состава минералов и появление карбонатов.
3. Граниты, особенности основных и акцессорных минералов, образование и особенности пегматитов различного типа. Особенности минералогии десилицированных пегматитов и пегматитов линии скрещения.
4. Минералообразование в высокотемпературных кислых и щелочных метасоматитах, особенности парагенезисов в зависимости от состава протолита. Зональность и типохимизм минералов известковых и магнезиальных скарнов. Особенности минеральных ассоциаций разнотипных метасоматитов и околожильных метасоматических преобразований.

5. Минеральные ассоциации гидротермальных жил различной геохимической специфики и P-T условий генерации. Низкотемпературные метасоматиты и ассоциации минералов в инфильтрационных и телетермальных месторождениях. Современные гидротермальные процессы: горячие источники, черные и белые курильщики.
6. Основные теории метасоматоза. Состав флюидов и гидротерм, методы исследований флюидных включений, оценки P-T-параметров. Связь метасоматоза и рудообразования. Метасоматические породы как поисковые признаки рудных месторождений.
7. Осадочное минералообразование: эвапориты, хемогенные осадки в аэробных и анаэробных обстановках, Fe-Mn отложения и фосфаты, аутигенное минералообразование.
8. Типы кор выветривания. Преобразование минералов в корах выветривания разного типа, минералогические индикаторы. Анализ древних и современных россыпей. Минералогия нетрадиционных и потенциально новых видов полезных ископаемых, минералогическое материаловедение и синтез минералоподобных материалов.
9. Минералогия контактового метаморфизма и пирометаморфизма. Типоморфные и типохимические особенности минералов различных метаморфических ассоциаций в P-T интервале. Рост минералов из газовой фазы: пневматолитовый процесс, фумаролы.
10. Специфика минералогии гипербазитов (офиолиты, концентрически-зональные ультра-мафические комплексы, расслоенные интрузии, кимберлиты) и базитов. Ассоциированные с ними месторождения полезных ископаемых (главные промышленно-генетические типы).
11. Минералогия средних пород (интрузивные и вулканические разности). Ассоциированные с ними месторождения.
12. Минералогия кислых пород (интрузивные и вулканические разности) и пегматитов разной основности: различные типы и типоморфизм минералов).
13. Минералогия карбонатитов (классические карбонатиты, карбонатиты складчатых поясов). Ассоциированные с ними месторождения полезных ископаемых (главные промышленно-генетические типы).

***Раздел 4. Минералогия вземных объектов. Минералогия нетрадиционных и потенциально новых видов полезных ископаемых, синтез минералоподобных материалов. Техногенные минералы: процессы, происхождение, месторождения. Экологические аспекты техногенного минералообразования. Биоминералогия. Геоархеология***

1. Минералогия вземных объектов (астроминералогия). Пояс астероидов как источник метеоритов. Классификация метеоритов. Особенности основных типов метеоритов. Использование их составов для петрогеохимических построений.
2. Минералогия техногенеза. Понятие, история возникновения и изучения. Разнообразие объектов минералогии техногенеза.
3. Техногенные минералы и месторождения. Современные технологии разработки техногенных месторождений. Комплексное освоение вторичных техногенных ресурсов.

4. Объекты и процессы современного техногенного минералообразования (карьеры, подземные выработки, вскрыша пород и др.). Минералогия шлаков различных металлургических производств.
5. Минералогия цементного производства. Производство продуктов на основе вторичных минеральных ресурсов (каменное литье, стройматериалы, химпродукты и др.).
6. Минералообразование в горящих угольных отвалах. Минералогия техногенеза в нефтегазопромысловом оборудовании.
7. Археоминералогия, геoarхеология. Цели и задачи, применяемые методы диагностики объектов.
8. Экологические аспекты техногенеза. Экологическая минералогия. Геоэкология и геохимия ландшафтов. Накопление элементов в растительном мире.
9. Техногенное минералообразование в почвах агропромышленного комплекса и урбанизированных территорий, в снеговом покрове и водоемах.
10. Биоминералогия, минералоподобные вещества в организме человека, животных и растений. Минерально-органические образования в организме человека. Патогенное минералообразование как следствие техногенеза.
11. Экспериментальная минералогия. Актуальность, задачи, трудности. Наиболее освоенное направление экспериментальной минералогии — экспериментальное изучение минеральных равновесий.

***Раздел 5. Физика, химия и термодинамика минералов, современные физико-химические методы исследования минералов. Технологическая минералогия, минералогическое обеспечение работ по комплексному использованию минерального сырья, его обогащению и переработке***

1. Открытие рентгеновских лучей, явление их дифракции. Метод рентгеноструктурного анализа. Цели и задачи, физическая основа, пробоподготовка.
2. Современные физико-химические методы исследования минерального вещества (обзор). Определение структурных параметров, химического состава, геохимических особенностей.
3. Оптические методы исследования минералов, в т.ч. рудных. Рентгеноструктурный и рентгеноспектральный методы количественного определения элементов.
4. Методы электронной микроскопии. Метод инфракрасной спектроскопии минералов Методы термобарогеохимии. Минеральные геотермобарометры (примеры и ограничения).
5. Метод ICP-MS для определения состава минералов. Физико-химические основы. Разновидности методик и приборов. Подготовка препаратов для исследования. Обработка и выдача данных.
6. Технологическая минералогия. Особенности минералов и руд, определяющие их технологические свойства. Геологические факторы.
7. Влияние геолого-минералогических особенностей руд разных генетических типов на показатели их переработки (на примерах)

8. Роль технологической минералогии в управлении качеством руд и технологическими процессами. Использование методов технологической минералогии на обогатительных предприятиях

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### ***Основная литература***

1. Бетехтин А.Г. Курс минералогии. М.: КДУ, 2007 или 2014. 721 с.
2. Булах А. Г., Кривовичев В.Г., Золотарёв А.А. Общая минералогия. 4-е изд. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 416 с.
3. Голева Р.В. Экологическая минералогия – новое научное направление в геоэкологии (становление, перспективы развития). М.: ВИМС, 2015. 36 с.
4. Изойтко В.М. Технологическая минералогия и оценка руд. СПб: Наука, 1997. 532 с.
5. Попов В.А. Практическая генетическая минералогия. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 167 с.

### ***Дополнительная литература***

1. Годовиков А.А. Минералогия. М.: Недра, 1983.
2. Григорьев Д.П., Жабин А.Г. Онтогенез минералов. Индивиды. М.: Наука, 1975. 339 с.
3. Миловский А.В., Кононов О.В. Минералогия. М.: МГУ, 1982.
4. Юшкин Н.П. Теория и методы минералогии. М.: Наука, 1977.
5. Юдин И.А., Коломенский В.Д. Минералогия метеоритов. Свердловск: УНЦ АН СССР. 1987. 200 с.
6. Куликов Б.Ф., Зуев В.В., Вайншенкер И.А. Минералогический справочник технолога-обогапителя. Л.: Недра, 1978. – 206 с.
7. Перепелицын В.А. Основы технической минералогии и петрографии. М.: Недра, 1987. 255 с.
8. Перепелицын В.А., Рывтин В.М., Коротеев В.А., Макаров А.Б., Григорьев В.В. и др. Техногенное минеральное сырье Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2013. – 332 с.
9. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Минералогия техногенных образований Учебное пособие. Томск: ТПУ, 2011. 59 с.
10. Коцуг Д.Г., Посухова Т.В., Власов Е.А. Методы исследования минералов: Растровая и просвечивающая электронная микроскопия и электронно-зондовый микроанализ: Учебное пособие. М.: МАКС Пресс, 2009 98 с.
11. Современные методы исследования минералов, горных пород и руд. Санкт-Петербург: СПбГУ, 1997. 137 с.

### ***Программное обеспечение, базы данных, интернет-ресурсы***

1. <http://www.mining-enc.ru>
2. <http://www.redkiekamni.ru>
3. [https://www.studmed.ru/popov-v-a-prakticheskaya-geneticheskaya-mineralogiya\\_abb38cb5d96.html](https://www.studmed.ru/popov-v-a-prakticheskaya-geneticheskaya-mineralogiya_abb38cb5d96.html)
4. <https://www.geokniga.org/books/3777>
5. <https://bookonline.ru/lecture/glava-3-o-metodah-detalnyh-mineralogicheskikh-issledovaniy>
6. <https://webmineral.com/>

7. <http://mincryst.iem.ac.ru/rus/>
8. <http://insminerals.ru/Links.htm>
9. <https://rruff.info/AMS/amcsd.php>

## **7. Примеры вопросов к экзаменам в рамках текущей и промежуточной аттестации**

1. Физические свойства кристаллов и их зависимость от внутренней структуры вещества. Морфология минералов и минеральных агрегатов. Облик и габитус кристаллов.
2. Минералы как многокомпонентные системы переменного состава. Типы химической связи в минералах (ионная, ковалентная, металлическая, межмолекулярная).
3. Понятие о процессах минералообразования: магматическом: пегматитовом, пневматолитовом, гидротермальном, метаморфическом, метасоматическом, гипергенном
4. Современные классификации минералов. Кристаллохимическая систематика минералов. Схема описания минералов.
5. Общая характеристика класса самородных элементов, условия образования в природе, типы месторождений.
6. Сульфиды и их аналоги. Общая характеристика и условия образования в природе. Роль в формировании месторождения металлических полезных ископаемых.
7. Галогениды, карбонаты, сульфаты, фосфаты, карбонаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Карбонаты. Общая характеристика и условия образования в природе.
8. Соли кислородных кислот. Вольфраматы, молибдаты, хроматы, бораты. Общая характеристика и условия образования в природе.
9. Характеристика силикатов. Современное представление о структурных типах силикатов. Основы современной кристаллохимической классификации силикатов.
10. Островные силикаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Распространённость в земной коре и мантии.
11. Цепочечные и ленточные силикаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Подходы к современным классификациям пироксенов и амфиболов.
12. Слоистые силикаты и алюмосиликаты. Каркасные силикаты. Общая характеристика и условия образования в природе. Примеры силикатов как основных компонентов месторождений нерудного сырья.
13. Минералогия гипербазитов и базитов. Ассоциированные с ними месторождения полезных ископаемых (главные промышленно-генетические типы).
14. Минералогия средних пород (интрузивные и вулканические разности). Ассоциированные с ними месторождения.
15. Минералогия кислых пород (интрузивные и вулканические разности) и пегматитов разной основности: различные типы и типоморфизм минералов). Типы ассоциированных месторождений.
16. Классификация метеоритов. Хондриты. Их минеральный состав. Использование химических составов хондритов для петрогеохимических построений.
17. Техногенные минералы и месторождения. Комплексное освоение вторичных техногенных ресурсов.

18. Археоминералогия, геoarхеология. Цели и задачи, применяемые методы диагностики объектов.
19. Экологическая минералогия. Геоэкология и геохимия ландшафтов. Накопление
20. Минералоподобные вещества в организме человека, животных и растений.
21. Современные представления о генезисе минералов. Роль живого вещества в процессах минералообразования.
22. Метод рентгеноструктурного анализа. Цели и задачи, физическая основа, пробоподготовка.
23. Минеральные геотермобарометры (примеры и ограничения).
24. Методы, позволяющие определить содержания микроэлементов в минералах. Физико-химические основы. Разновидности методик и приборов. Подготовка препаратов для исследования.
25. Технологическая минералогия. Особенности минералов и руд, определяющие их технологические свойства. Геологические факторы.

#### 8. Фонд оценочных средств для проведения текущей аттестации по дисциплине

С целью оценки уровня знаний на экзамене используется следующая матрица:

Оценка	Критерий
Отлично	Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показана совокупность осознанных знаний об объекте, проявляющаяся в свободном оперировании понятиями, умении выделить существенные и несущественные его признаки, причинно-следственные связи. Ответ формулируется в терминах науки, изложен литературным языком, логичен, доказателен, демонстрирует авторскую позицию аспиранта. Могут быть допущены недочеты в определении понятий, исправленные аспирантом самостоятельно в процессе ответа.
Хорошо	Дан полный, но недостаточно последовательный ответ на поставленный вопрос, но при этом показано умение выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. Ответ логичен и изложен в терминах науки. Могут быть допущены 1-2 ошибки в определении основных понятий, которые аспирант затрудняется исправить самостоятельно.
Удовлетворительно	Дан недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Аспирант не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. Аспирант может конкретизировать обобщенные знания, доказав на примерах их основные положения только с помощью преподавателя. Речевое оформление требует поправок, коррекции.
Неудовлетворительно	Дан неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Аспирант не осознает связь данного понятия, теории, явления с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа аспиранта не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины.

Оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», констатирует (фиксирует) успешное прохождение текущей аттестации аспирантом.

