

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан Геологического факультета
академик

_____/Д.Ю.Пущаровский/

«__» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Минералогическая кристаллохимия литофильных редких элементов

Автор-составитель: Пеков И.В.

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

05.04.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Геохимия

Магистерская программа

Кристаллография и кристаллохимия (ИМ)

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № _____, _____)

Москва 2018

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, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ 1674 от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение – 2018.

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

Цель и задачи дисциплины

Цель – расширение общего научного и научно-практического кругозора в областях минералогии, кристаллохимии и геохимии на примере большой группы редких элементов и получение систематических знаний о них на современном уровне;

Задачи:

- подготовка учащихся к решению минералогических и кристаллохимических задач
- ознакомление с современным состоянием минералогической кристаллохимии Li, Be, B, Rb, Sr, Ba, Y, лантаноидов, Zr, Hf, Nb и Ta

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

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Общая геология», «Общая химия», «Минералогия», «Геохимия».

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

3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

ОПК-3.М Способность в процессе решения профессиональных задач самостоятельно получать, интерпретировать и обобщать результаты, разрабатывать рекомендации по их практическому использованию (формируется частично),

ПК-9.М Способность использовать современные методы обработки и интерпретации комплексной информации для решения производственных задач (формируется частично),

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

***знать:** современное состояние минералогии, в том числе структурной и генетической, Li, Be, B, Rb, Sr, Ba, Y, лантаноидов, Zr, Hf, Nb и Ta;*

***уметь:** самостоятельно разобраться с оригинальными аналитическими данными, касающимися минералов редких элементов, которые могут быть получены им в процессе научной или научно-производственной работы;*

***владеть:** современными подходами к изучению минералов редких элементов.*

4. Формат обучения – лекционные и семинарские занятия

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе 56 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (14 часов – занятия лекционного типа, 42 часа – занятия семинарского типа, 16 академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен.

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

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Современная трактовка основных понятий минералогии, кристаллохимии, химии и геохимии. Собственные минералы и минералы-концентраты химического элемента.

Общая характеристика литофильных редких элементов в геохимико-генетическом аспекте.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы * (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Вводная часть. Литий. Бериллий. Бор		6		18	24	6
Цезий и рубидий. Редкоземельные элементы. Цирконий и гафний		6		18	24	6
Ниобий и тантал		2		6	8	4
Промежуточная аттестация <u>экзамен</u>						
Итого	72			56		16

Содержание разделов дисциплины:

Содержание лекционных и семинарских занятий

Лекция 1 и семинар.

Вводная часть. Краткая информация о том, что и в каких аспектах будет рассматриваться в рамках курса. Современная трактовка основных понятий минералогии, кристаллохимии, химии и геохимии, которые наиболее часто затрагиваются в данном курсе. Собственные минералы и минералы-концентраты химического элемента. Общая характеристика литофильных редких элементов в геохимико-генетическом аспекте.

Лекции 2-3 и семинары. Литий. Строение атома и свойства элемента. Особенности нуклеосинтеза «дефицитных» элементов – Li, Be и B. Литий в структурах минералов: различия между поведением в тетраэдрической и октаэдрической координациях, изоморфные замещения с участием Li. Общие особенности поведения и механизмы накопления лития в минералообразующих системах. Литиевая минерализация и ее эволюция в: гранитных пегматитах (в т.ч. классификация редкометалльных гранитных пегматитов по типам литиевой минерализации); грейзенах и цвиттерах; агпаитовых постмагматических системах. Важнейшие «несобственные» минералы-концентраты лития. Сподумен и сподуменовые пегматиты. Петалит и петалитовая подформация редкометалльных пегматитов. Эвкрипит и бикитаит. Литий в турмалинах. Литиевые и Li-содержащие слюды: разнообразие, кристаллохимия, распределение катионов и сопряженные изоморфные замещения, «связка» Li–F, типоморфизм и эволюция состава Li-слюд в дифференциатах гранитоидов и высокощелочных пород. Кукцит. Литиевые и Li-содержащие амфиболы: разнообразие, структурное положение лития и изоморфные замещения с его участием, обстановки нахождения. Группы нептунита и осумилита. Ряд амблигонит–монтбразит. Ряд трифилин–литофилит и процессы изменения этих фосфатов. Литиевые фторалюминаты и танталаты.

Лекции 4-5 и семинары. Бериллий. Строение атома и свойства элемента. Особенности кристаллохимии бериллия, причины его кристаллохимической индивидуальности. Случаи изоморфизма Be с Al, B, Li в минералах. Бериллиевая минерализация и ее эволюция в: гранитных пегматитах; грейзенах и цвиттерах; контактовых метасоматитах; гидротермалитах; щелочных постмагматических системах. Связь кристаллохимических особенностей минералов бериллия с щелочностью среды. Группа берилла: структурно-химические особенности, сопряженные изоморфные замещения, роль щелочных катионов и воды (воробьевит, пеззоттаит, водно-натриевый берилл), типохимизм, генетические типы берилловой минерализации, бацит. Хризоберилл и мариинскит. Группа тааффеита. Бромеллит. Фенакит. Бертрандит. Группа гельвина: кристаллохимия, генетические типы минерализации. Гадолинит-(Y). Эвклаз. Бавенит. Лейкофан. Щелочные бериллосиликаты (чкаловит, тугтупит, эпидидимит, группа лейфита) и эволюция бериллосиликатной минерализации в агпаитовых комплексах. Фосфаты бериллия и гипергенная бериллиевая минерализация. Бораты бериллия.

Лекции 6-8 и семинары. Бор. Строение атома и свойства элемента. Основные принципы структурной химии бора, причины его кристаллохимической индивидуальности, разнообразия и своеобразия борных минералов. Типы боратных и боросиликатных анионов. Различия в свойствах и генезисе у минералов с бором в треугольном и тетраэдрическом кислородном окружении. Природные бораты: классификации, связь структуры с условиями образования, типоморфизм. Эндогенная и экзогенная ветви минералогии бора, различия между ними. Вулканогенная борная минерализация. Вулканогенно-осадочная бороносная формация: генетические типы месторождений и проявлений, их возраст, механизмы боратообразования. Борная минерализация морского осадочного генезиса, боратообразование при галокинезе. Элювиальные, постэлювиальные и другие экзогенные месторождения и проявления боратов. Борная минерализация, связанная со скарнами: в магнезиальных скарнах и кальцифирах; в апомагнезиальных известковых скарнах; в марганцовистых скарноидах; в известковых скарнах; в скарново-

грейзеновых образованиях. Минералы бора в гранитных пегматитах и нормальных грейзенах. Борная минерализация в метаморфитах разных типов. Бораты надгруппы людовигита. Котоит и суанит. Минералы ряда флюоборит–гидроксилборит. Магнезиально-кальциевые бораты и карбонато-бораты. Перцевит и борсодержащие минералы группы гумита. Бор в минералах группы этрингита. Гамбергит, еремеевит и минералы ряда родицит–лондонит. Бораты Ta и Nb. Ссайбелиит. Борацит. Группа хильгардита. Калиборит. Гидроборацит. Бура и тинкалконит. Кернит. Улексит. Иньоит. Колеманит. Прайсеит. Стронциевые бораты. Природные борные кислоты. Группа данбурита. Ридмерджнерит. Датолит и изоморфизм в минералах структурного типа датолита–гадолинита. Турмалины. Группа аксинита. Бор в слюдах и хлоритах. Группа дюмортьерита. Бор в минералах группы везувиана.

Лекция 9 и семинар. Цезий и рубидий. Строение атомов и свойства элементов.

Сравнительная кристаллохимия цезия в концентрированном и рассеянном состояниях, структурные особенности собственных минералов цезия. Разделение цезия и калия в природных системах. Коэффициент агпаитности как величина, определяющая минералогию цезия. Генетические типы цезиевой минерализации. Поллуцит и поллуцитоносные гранитные пегматиты. Другие минералы цезия в гранитных и щелочных пегматитах. Рубидий – ярчайший пример рассеянного элемента. Калиевые минералы – концентраторы Rb. Собственные минералы рубидия – рубиклин и волошинит. Механизмы концентрирования рубидия и отделения его от калия. Халькогенидная ветвь цезиевой и рубидиевой минерализации и причины халькофильного поведения Cs и Rb.

Барий и стронций. Строение атомов и свойства элементов. Сходство и различия в кристаллохимии и геохимии бария и стронция. Изоморфные замещения с участием Ba и Sr, распределение этих элементов между сосуществующими минералами.

Индивидуальные черты минералогии бария и стронция. Стронциевая и бариевая минерализация в экзогенных образованиях. Высокобариевые метаморфиты. Стронциевая и бариевая минерализация в дифференциатах щелочных пород. Обогащенные Sr и Ba карбонатиты. Барит и целестин. Витерит и стронцианит. Группа анкилита. Двойные карбонаты Ba и Ca. Группа бербанкита и карбоцернаит. Группа маккельвиита. Слоистые BaREE-фторкарбонаты. Стронций в минералах группы апатита. Минералы группы лампрофиллита. Бариевые гетерофиллосиликаты. Sr и Ba в оксидах групп перовскита и криптомелана. Бариевые урановые слюдки.

Лекции 10-11 и семинары. Редкоземельные элементы (REE = лантаноиды + иттрий).

Строение атомов и свойства элементов. Главные особенности структурной химии REE.

Изоморфные замещения с участием REE в минералах. Эффект лантаноидного сжатия и его значение в минералогической кристаллохимии. Разделение лантаноидов на геохимико-кристаллохимические подгруппы. Структурная избирательность минералов в отношении определенных REE; селективные и комплексные («безразличные») редкоземельные минералы; фракционирование REE между минералами и по позициям в одной структуре. Современная номенклатура редкоземельных минералов; правило Левинсона. Собственные минералы индивидуальных REE. Акцессорная редкоземельная минерализация в магматических породах нормального ряда. Редкоземельная минерализация в гранитных пегматитах. Минералы REE в жилах альпийского типа.

Редкоземельная минерализация в комплексах пород щелочной формации: щелочных гранитах; щелочных сиенитах и их производных; карбонатитах; фенитах; агпаитовых породах и их дифференциатах. Кристаллохимическая специфика минералов REE и эволюция редкоземельной минерализации в щелочных магматических комплексах.

Минералогенез REE в экзогенных условиях. Монацит-(Ce). Рабдофан-(Ce). Ксенотим-(Y).

Чёрчит-(Y). Редкоземельные элементы в фосфатах надгруппы апатита. Группа флоренсита. Арсенаты серии агардита. Алланит-(Ce) и другие REE-содержащие минералы группы эпидота. Группа чевкинита–перрьерита. Бритолиты – редкоземельные силикатные апатиты. Редкоземельные члены группы датолита–гадолинита. Щелочные

редкоземельные силикаты. Редкоземельные карбонаты полисоматического семейства бастнезита–фатерита: структурные особенности, разнообразие, обстановки формирования, месторождения. REE в карбонатах групп анкилита, бербанкита, маккельвиита.

Особенности фракционирования REE в сложных оксидах группы кричтонита. Группа перовскита: изоморфные замещения с участием REE, обстановки формирования, лопаритовые месторождения. Собственно редкоземельные и REE-содержащие тантало-ниобаты. Церианит – минерал четырехвалентного церия. Генетическая кристаллохимия REE во флюорите и твейтите-(Y). Гагаринит-(Y).

Лекция 12 и семинар. Цирконий и гафний. Строение атомов и свойства элементов.

Причины и следствия кристаллохимической близости циркония и гафния. Природные системы, в которых происходит разделение Zr и Hf; гафнон. Общие особенности кристаллохимии и минералогии циркония. Изоморфные замещения с участием Zr.

Сравнительная кристаллохимия Zr, Ti и Nb; минералогические и геохимические следствия кристаллохимических различий между этими элементами. Генетическая кристаллохимия силикатов с Zr. Циркон: химический состав, изоморфизм, обстановки формирования, научная и практическая значимость. Группа эвдиалита. Группа ловозерита. Вадеит и катаплеит. Группа илерита. Паракелдышит. Эльпидит. Диортосиликаты групп вёлерита и розенбушита. Согдианит и цектцерит. Циркониевые гранаты. Бадделеит. Цирконолиты. Кальциртит и тажеранит. Фосфаты и карбонаты циркония.

Лекции 13-14 и семинары. Ниобий и тантал. Строение атомов и свойства элементов.

Сходство и различия в кристаллохимии и минералогии ниобия и тантала. Изоморфные замещения с участием Nb и Ta. Танталовая минерализация в редкометальных гранитных пегматитах. Акцессорная ниобиевая минерализация в магматических породах. Минералы ниобия в пегматитах нормальных и щелочных гранитов. Оксидная ниобиевая минерализация в дифференциатах и метасоматитах щелочных силикатных пород и в карбонатитах. Ниобосиликаты в высокощелочных системах. Группа пирохлора: вариации состава, типохимизм, природные процессы ионного обмена, декатионирования и гидратации. Структурная вариативность тантало-ниобатов, производных от структурного архетипа брукита. Группа иксиолита. Колумбиты–танталиты. Группа воджинита и тантало-ниобаты с видообразующим вольфрамом. Тапиолит и Nb, Ta-содержащий рутил. Группа стибиотанталита. Группы эшинита и эвксенита. Группа фергюсонита. Самарскит и ишикаваит. Nb и Ta в оксидах группы перовскита. Водные ниобаты группы франконита. Ниобиевые силикооксиды. Группа лабунцовита. Вуоннемит, процессы и продукты его изменения. Nb и Ta в минералах группы эвдиалита. Холтит. Ниобиевые сульфиды.

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.

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы.

Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Литофильные элементы. Признаки, по которым химические элементы относятся к литофильным, сидерофильным или халькофильным.

Собственные минералы и минералы-концентраторы того или иного химического элемента.

ЛИТИЙ

Почему литий, бериллий и бор, несмотря на малые атомные номера, относятся к редким элементам?

Главные генетические типы литиевой минерализации.

Литиевая минерализация в гранитных пегматитах.

Изоморфизм с участием лития в минералах. Связь характера изоморфизма с координацией лития.

Главные минералы лития.

Сподумен и петалит: общие черты и различия – кристаллохимические и генетические.

Литиевые слюды: разнообразие, кристаллохимические особенности, генезис.

Литиевые амфиболы: разнообразие, изоморфизм катионов, генезис.

Несиликатные минералы лития.

БЕРИЛЛИЙ

Главные генетические типы бериллиевой минерализации.

Изоморфизм с участием бериллия в минералах. Причины, по которым бериллий обособливается в кристаллических структурах.

Главные минералы бериллия.

Различия в составе бериллиевой минерализации и в кристаллохимии минералов бериллия в дифференциатах гранитоидов нормального ряда и в дифференциатах щелочных пород.

Кристаллохимические особенности берилла и изоморфные замещения в нем. Щелочные металлы в берилле.

Несиликатные минералы бериллия.

Фенакит и бертрандит: генетические типы месторождений (проявлений).

Минералы группы гельвина: кристаллохимия, катионный изоморфизм и генетические типы месторождений (проявлений).

Гадолинит и датолит: кристаллохимия, катионный изоморфизм и генетические типы месторождений (проявлений).

БОР

Главные индивидуальные особенности кристаллохимии бора в минералах и причины, определяющие его кристаллохимическую индивидуальность.

Главные минералы бора.

Бораты эндогенного и экзогенного происхождения: различия в химическом и структурном аспектах.

Главные генетические типы экзогенных борных месторождений (проявлений) и их минералогические различия.

Борная минерализация в скарнах разных типов и гранитных пегматитах.

Эндогенные Mg- и Fe-бораты.

Экзогенные Mg- и Ca-бораты.

Натриевые бораты.

Кальциевые боросиликаты.

Минералы групп турмалина и аксинита: разнообразие, катионный изоморфизм и генезис.

ЦЕЗИЙ и РУБИДИЙ

Главные особенности кристаллохимии рубидия и цезия в минералах, в том числе изоморфизм с участием Rb и Cs.

Генетические типы цезиевой и рубидиевой минерализации. Главные минералы-концентраторы рубидия и цезия.

СТРОНЦИЙ и БАРИЙ

Сходства и различия в кристаллохимии стронция и бария в минералах.

Главные генетические типы стронциевой и бариевой минерализации.

Главные собственные минералы и минералы-концентраторы стронция и бария.

Природные карбонаты стронция и бария. Обстановки их образования.

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Общие особенности кристаллохимии REE в минералах. Различия в кристаллохимии двух групп REE (цериевой и иттриевой) в минералах и причины этих различий.

Изоморфизм REE с другими элементами в минералах.

Номенклатура редкоземельных минералов. Правило Левинсона.

Селективные и комплексные («безразличные») редкоземельные минералы. Причины резкой селективности минералов в отношении определенных REE. Фракционирование REE между минералами.

Главные генетические типы редкоземельной минерализации.

Пары монацит – ксенотим и монацит – рабдофан: общие черты и различия в кристаллохимии и генезисе.

Редкоземельные минералы, принадлежащие к структурному архетипу апатита и его производным.

Редкоземельные карбонаты.

Редкоземельные минералы и главные «несобственные» минералы-концентраторы REE, относящиеся к оксидам и галогенидам.

ЦИРКОНИЙ

Особенности кристаллохимии и изоморфизм циркония в минералах.

Кристаллохимические различия между Zr и Ti.

Циркон: изоморфизм и генетические типы минерализации.

Эвдиалиты: основные особенности кристаллохимии и генезис.

Природные оксиды циркония.

НИОБИЙ и ТАНТАЛ

Кристаллохимия ниобия и тантала: общие особенности и различия. Изоморфизм ниобия и тантала с другими элементами в минералах.

Главные минералы ниобия и тантала.

Генетические типы ниобиевой и танталовой минерализации.

Минералы группы пироклора: химическое разнообразие, изоморфизм, ионообменные свойства, генетические типы месторождений (проявлений).

Члены группы колумбита и родственные им минералы со структурами, производными от структурного архетипа брукита: связь «химический состав – структура», генетические типы месторождений (проявлений).

Редкоземельные тантало-ниобаты и титано-ниобаты.

Ниобий и REE в минералах группы перовскита.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: современного состояния минералогии, в том числе структурной и генетической, Li, Be, B, Rb, Sr, Ba, Y, лантаноидов, Zr, Hf, Nb и Ta	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: самостоятельно разбираться с оригинальными аналитическими данными, касающимися минералов редких элементов,	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности не принципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение самостоятельно разбираться с оригинальными	Успешное умение самостоятельно разбираться с оригинальным и аналитическими данными

которые могут быть получены им в процессе научной или научно-производственной работы			аналитическим и данными.	
Владения: современными подходами к изучению минералов редких элементов	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированные навыки использования.	Владение современным и подходами к изучению минералов редких элементов

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

а) основная литература: отсутствует (база – материал лекций)

б) дополнительная литература:

Волошин А.В. (1993): Тантало-ниобаты: систематика, кристаллохимия и эволюция минералообразования в гранитных пегматитах. СПб., Наука, 297 с.

Волошин А.В., Пахомовский Я.А. (1988): Минералогия тантала и ниобия в редкометалльных пегматитах. Л., Наука. 239 с.

Воронков А.А., Шумяцкая Н.Г., Пятенко Ю.А. (1978): Кристаллохимия минералов циркония и их искусственных аналогов. М., Наука, 181 с.

Загорский В.Е., Макагон В.М., Шмакин Б.М., Макрыгина В.А., Кузнецова Л.Г. (1997): Гранитные пегматиты. Т. 2. Редкометалльные пегматиты. Новосибирск: Наука. 285 с.

Нетрадиционные типы редкометалльного минерального сырья (1991). М., Недра, 248 с.

Пеков И.В., Кононкова Н.Н. (2010): Рубидиевая минерализация в редкометалльных гранитных пегматитах Вороньих тундр (Кольский полуостров, Россия) // Геохимия, 7, 741-760.

Пятенко Ю.А. (1990): Основные черты минералогической кристаллохимии лития // Изв. АН, сер. геол., 4, 67-74.

Пятенко Ю.А., Курова Т.А., Черницова Н.М., Пудовкина З.В., Блинов В.А., Максимова Н.В. (1999): Ниобий, тантал и цирконий в минералах. М., Изд. ИМГРЭ, 213 с.

Пятенко Ю.А., Угрюмова Н.Г. (1988): Минералогическая кристаллохимия редкоземельных элементов // Изв. АН, сер. геол., 11, 75-86.

Солодов Н.А., Балашов Л.С., Кременецкий А.А. (1980): Геохимия лития, рубидия и цезия. М.: Недра. 233 с.

Хомяков А.П. (1990): Минералогия ультраапатитовых щелочных пород. М., Наука, 196 с.

Bayliss P., Levinson A.A. (1988): A system of nomenclature for rare earth mineral species: revision and extension // Amer. Miner., v. 73, 422-423.

Henderson P. (1984): Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier, 510 pp

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения – не требуется

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем - не требуется

Г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (лицензионное программное обеспечение не требуется):

Д) Материально-техническое обеспечение: - мультимедийный проектор, компьютер, экран, выход в Интернет.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель (преподаватели) – И.В. Пеков

11. Автор (авторы) программы – И.В. Пеков