

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и
аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук
(ГЕОХИ РАН)

ПРИНЯТО

Ученым советом ГЕОХИ РАН

Протокол № 4 от 22.04 2022 г.



УТВЕРЖДАЮ

ИО директора ГЕОХИ РАН

д.х.н. Хамизов Р.Х.

"22" 04 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Современные проблемы геохимии, минералогии, кристаллографии и геохимических методов поиска полезных ископаемых»

Область науки: 1 Естественные науки

(цифр и наименование)

Группа научных специальностей: 1.6 – Науки о Земле и окружающей среде

(цифр и наименование)

Научная специальность: 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»

(цифр и наименование)

Форма обучения: Очная

Вид итогового контроля: Экзамен

(Зачет/Дифференцированный зачет/Экзамен)

Москва 2022

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Данная рабочая программа состоит из четырех разделов, посвященных геохимии, минералогии, кристаллографии и геохимическим методам поиска полезных ископаемых. Геохимия и геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых – область знаний о распространенности химических элементов и изотопов в природе, о закономерностях их распределения в минералах, горных породах, рудных месторождениях, живом веществе, земной коре и Земле в целом, гидросфере, атмосфере и биосфере, а также во взвешенном веществе, о формах нахождения (состоянии) и поведении химических элементов и изотопов в природных и техногенных процессах, об условиях концентрирования и рассеяния элементов, формирования рудных месторождений, о выявлении и теоретической интерпретации локальных закономерностей пространственной геохимической структуры биосферы и разработке системы практических методов геохимического мониторинга окружающей среды, геохимических методов поисков, разведки и оценки месторождений полезных ископаемых, разработке принципов оценки и прогноза геохимического состояния биосферы. Изучение минералогии, позволяет приобрести знания о классах и группах минералов, их физических и химических свойствах, процессах минералообразования, закономерностях распространения в земной коре, а также об их практическом применении. Кристаллография, в свою очередь, позволяет познать фундаментальные законы внутреннего строения и внешней формы кристаллов, химического состава и условий их образования.

Настоящая программа ориентирована на анализ основных проблем геохимии, минералогии, кристаллографии и геохимических методов поиска полезных ископаемых, возникающих на современном этапе развития наук о Земле. Главными целями и задачами освоения данной дисциплины являются:

- углублённое понимание законов распространения и поведения химических элементов в земной коре и других геосферах Земли, а также во взвешенном веществе;
- познание закономерностей образования геохимических ассоциаций разного состава в геологических объектах различных уровней организации природного вещества, выделение геохимических парагенезисов в геологических объектах;
- освоение современных представлений о распределении и истории миграции химических элементов и их изотопов в литосфере, гидросфере, атмосфере и биосфере, выделение главных природных химических реакций для эндогенных и экзогенных процессов минералообразования.

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Современные проблемы геохимии, минералогии, кристаллографии и геохимических методов поиска полезных ископаемых» входит в образовательный компонент программы и относится к обязательным дисциплинам, которые направлены на подготовку к сдаче кандидатского экзамена.

3. Требования к предварительной подготовке обучающегося:

наличие у аспирантов знаний по дисциплинам «Общая химия», «Минералогия», «Петрология», «Кристаллохимия» и «Геохимия» в объеме программы высшего профессионального образования.

4. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Знать:

- современное состояние науки в области геохимии, минералогии, кристаллографии и геохимических методов поиска полезных ископаемых;
- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности.

Уметь:

- анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач;
- выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования.

Владеть:

- методами планирования, подготовки, проведения научно-исследовательской работы по научной специальности 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых»;
- навыками анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций при выполнении научных исследований;
- навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.

5. Структура и содержание дисциплины

5.1. Структура дисциплины

Приведенная ниже таблица отражает распределение учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса. Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единицы (288 часа).

Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						
	Всего	Всего аудит.	Из аудиторных				Сам. Работа
			Лекц.	Сем.	Пр.	КСР.	
«Современные проблемы геохимии, минералогии, кристаллографии и геохимических методов поисков полезных ископаемых»	288	100	88	-	12	-	188

5.2. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование и содержание раздела (темы)	Форма проведения занятий (лекции, семинары и т.д.)
1	<p>Космохимия (происхождение и космическая распространенность элементов)</p> <p>Определение и задачи космохимии. Основные объекты изучения космохимии. Основные термины и понятия космохимии.</p> <p>Основные формы состояния вещества во Вселенной - звезды, рассеянная материя, холодные тела, излучения, проблема “скрытой массы” галактик, понятие «темной материи» и «темной энергии». Происхождение Вселенной, современные методы ее изучения.</p> <p>Звездные галактики, их строение и эволюция. Место Солнечной системы в космосе. Рождение звезд, классификация, время жизни, их химический состав и основные стадии эволюции. Относительная распространенность элементов в солнечной атмосфере. Основные закономерности распространенности нуклидов в зависимости от атомного номера. Пыль и газ межпланетного пространства.</p> <p>Происхождение химических элементов. Процессы нуклеосинтеза в звездах, основные типы ядерных реакций: водородное, гелиевое, углеродное и кислородное горение. Понятие о возрасте химических элементов. Эволюция материи во Вселенной.</p>	лекции
2	<p>Формирование и ранняя эволюция Солнечной системы.</p> <p>Межзвездное газопылевое облако - общий источник вещества тел Солнечной системы. Понятие «солнечный состав» (солнечная распространенность элементов). Химический состав околосолнечного протопланетного диска. Соотношения основных элементов в телах Солнечной системы как индикатор процессов их дифференциации.</p> <p>Основные физико-химические факторы глобальной дифференциации вещества при образовании тел Солнечной системы - изменение главных термодинамических параметров – давления (P), температуры (T) и состава (x). Классическая (стандартная) модель образования Солнечной системы. Две стадии эволюции околосолнечного диска, оценка времени основных этапов формирования тел Солнечной системы. Ограничения по P, T и x для моделей образования Солнечной системы по космохимическим данным.</p> <p>Основные стадии эволюции околосолнечного протопланетного диска. <i>Стадия газопылевого диска.</i> Ее длительность, эволюция основных термодинамических параметров (P, T, состава твердой и газовой фаз). Термодинамические модели конденсации газа солнечного состава. <i>Стадия формирования планетных тел во внешней части Солнечной системы и планетезималей во внутренней ее части.</i> Процессы дифференциации каменного (породообразующего) вещества.</p>	лекции

	<p>Аккреция атмосфер планет-гигантов. Понятия «диссипация», «аккумуляция» и «аккреция». Стадия «обломочного» (<i>debris</i>) диска. Ее длительность. Образование внутренних планет.</p> <p>Методы химической термодинамики в космохимии. Расчет термодинамического равновесия методом минимизации функции свободной энергии Гиббса при наложенных линейных и нелинейных ограничениях.</p> <p>Дифференциация вещества в ранней Солнечной системе в процессах его аккумуляции и радиального транспорта. Летучие в Солнечной системе. Распределение летучих в различных телах Солнечной системы (планеты земной группы, планеты-гиганты, кометы и астероиды). Летучие элементы и их соединения в газовой фазе околосолнечного диска. Механизмы дифференциации и аккумуляции летучих. Эволюция летучих от досолнечной фазы до образования планет и спутников. Значение D/H в молекуле воды как индикатор процессов эволюции в протопланетном диске.</p>	
3	<p>Метеоритика (распространенность элементов в метеоритах).</p> <p>Источники поступления внеземного вещества на Землю и его поток. Классификация метеоритов, их минералогия и геохимия. Изотопный состав кислорода метеоритов.</p> <p>Хондриты, классификация, петрография, минералогический и химический составы, изотопия. Рефракторные включения, хондры, матрица. Происхождение родительских тел хондритов. Хондриты как строительный материал Земли.</p> <p>Нехондритовые метеориты, классификация. Ахондриты, их петрографо-минералогические характеристики, железные и железокремниевые метеориты. Процессы дифференциации на их родительских телах. Космическая пыль.</p> <p>Процессы испарения и конденсации в Солнечной системе. Хронология ранней Солнечной системы; космическая история метеоритов; понятие о возрасте метеоритного вещества и космическом ("экспозиционном") возрасте метеоритов.</p> <p>Основные закономерности распространенности элементов в хондритах; сравнение метеоритной и солнечной кривых распространенности элементов - сходства и различия.</p> <p>Ударные процессы, взрывные метеоритные кратеры, импактиты. Катастрофы в истории Земли.</p> <p>Основные методы исследования внеземного вещества. Лабораторные исследования внеземного вещества. Дистанционные – спектроскопия поверхности и атмосфер. Анализ вещества <i>in situ</i>.</p>	лекции, практические занятия
4	<p>Геохимия Земли и других планетных тел Солнечной системы</p> <p>Солнце и тела Солнечной системы – общие свойства и основные различия. Планеты земной группы, планеты гиганты (две группы), спутники планет-гигантов – общий обзор.</p> <p>Состав и строение Земли. Земная кора, мантия, ядро. Способы оценки среднего состава оболочек и ядра Земли. Химический состав</p>	лекции

земной коры. Современные представления о структуре земной коры; типы земной коры. Масса коры и отдельных ее структурных единиц; оценка масс различных генетических групп пород в земной коре. Современные оценки и основные закономерности распространенности элементов в земной коре. Химический состав мантии Земли; проблема геохимической гетерогенности мантии. Хондритовая модель, примитивная мантия. Распределение элементов между оболочками. Химическая дифференциация Земли на ранних стадиях ее формирования, происхождение и эволюция внешних оболочек планеты (коры, гидросферы и атмосферы).

Луна и планеты земной группы. Луна - основные параметры, температурный режим, морфология поверхности, химический состав лунных пород, гипотезы образования (мегаимпакт и другие). История исследования, основные цели, методы, результаты. Эндогенная и экзогенная вода на Луне.

Меркурий - основные сведения, температура и структура поверхности, особенности движения. Венера - основные параметры, атмосфера, температура, парниковая модель, вращение. Марс и его спутники - основные параметры, атмосфера, температура, особенности поверхности, химический состав пород, льды на Марсе. Принципиальное отличие состава коры Земли, Луны, Венеры, Марса от состава исходного (солнечно-метеоритного) вещества. Современные представления о источниках летучих компонентов внешних оболочек планет земного типа. Термическая история планет земной группы.

Внешние планеты. Юпитер (основные параметры, химический состав и свойства атмосферы, температура, вращение. Спутники Юпитера. Вулканизм на спутниках. Сатурн, его спутники и кольца (основные параметры, химический состав и физические свойства, особенности вращения спутников и колец).

Образование спутниковых систем. Понятие регулярных и захваченных спутников. Модели образования регулярных спутниковых систем.

Галилеевы спутники Юпитера, Ио и его вулканы. Открытие вулканической деятельности на Европе. Понятие «приливного взаимодействия». Итоги и планы дальнейших исследований спутников Юпитера, космическая миссия «Dawn».

Спутниковая система Сатурна, состав, основные характеристики, ее отличие от спутниковой системы Юпитера. Энцелад. Понятие «криовулканизма».

Титан, модели внутреннего строения состав атмосферы. Титан как модель ранней Земли. Основные результаты исследования спутниковой системы Сатурна КА «Cassini-Guignens».

Спутники Урана и Нептуна.

Малые тела Солнечной системы: Астероиды Главного пояса астероидов. Крупнейшие объекты - Церера, Веста и Паллада, их строение, состав, методы и основные результаты изучения. Понятие дифференциации протопланетных тел на примере астероидов Веста и

	<p>Церера. Астероиды Главного пояса астероидов – родительские тела метеоритов. Основные группы околоземных астероидов. Астероиды групп Аполлона, Атона и Амура. Астероиды Итокава, Эрос. Методы их исследования, результаты. Проблема астероидной опасности.</p> <p><i>Транснептуновые объекты</i> (объекты пояса Эджворта-Койпера) – первичные и наименее измененные тела внешней части Солнечной системы. Плутон – основные характеристики, внутреннее строение, состав поверхности, признаки геологической активности (по данным космической миссии «Новые горизонты»).</p> <p><i>Кометы</i>. Кометы Облака Оорта. Короткопериодические кометы. Комета Чурюмова-Герасименко, ее особенности. Эксперименты Deep Impact (комета 9P/Tempel 1) и Stardust (комета Wild 2) и Rosetta-Филы (комета 67P/Чурюмова-Герасименко) их основные результаты.</p> <p><i>Методы изучения космических объектов</i>. Наземные телескопы различных видов (оптические, инфракрасные, радиотелескопы). Космические телескопы и их возможности: рентгеновский телескоп им. Эйнштейна, оптические телескопы им. Хаббла, им. Уэбба, инфракрасные телескопы им. Гершеля. И им. Спитцера – основные итоги.</p> <p>Основные <i>современные</i> космические проекты изучения планет, их спутников, астероидов Главного пояса и околоземных.</p> <p>Эзопланетные системы. Методы обнаружения экзопланет - транзитный метод и метод измерения лучевых скоростей. Понятие «зоны обитания», ее основные условия.</p> <p>Результаты исследования экзопланетных систем и их применение в космогонии и космохимии. Перспективы. Понятие астрохимии и астробиологии.</p> <p>Зачем нужно исследовать Космос? Философский, естественнонаучный и практический аспекты проблемы.</p>	
5	<p>Изотопная геохимия и космохронология</p> <p>Изотопы. Основные понятия. Стабильные и нестабильные изотопы. Процесс радиоактивного распада нестабильных изотопов.</p> <p>Роль радиоактивных элементов в процессе дифференциации вещества планетезималей и планетных тел.</p> <p>Космохронология. Использование изотопных данных для датировки различных космогонических процессов – основные методы и важнейшие ограничения. Абсолютный возраст Солнечной системы, метеоритов, Земли и Луны.</p> <p>Роль радиоактивных элементов в процессах дифференциации вещества на ранних этапах эволюции Солнечной системы. Роль короткоживущих радиоактивных изотопов в процессах дифференциации вещества в ранней Солнечной системе. Дифференциация железо-каменных и каменно-ледяных планетезималей, примеры численных моделей.</p>	лекции, практические занятия

6	<p style="text-align: center;">Физическая геохимия</p> <p><i>Основные понятия и уравнения физической геохимии.</i> Основные понятия термодинамики: система, фаза, компонент, интенсивные и экстенсивные параметры состояния. 1-ый и 2-ой законы термодинамики. Критерии термодинамического равновесия. Возможности и ограничения методов равновесной термодинамики. Правило фаз Гиббса. Уравнение Гиббса-Дюгема. Термодинамические потенциалы. Термодинамика систем с вполне подвижными компонентами (термодинамические потенциалы Коржинского, правила фаз Коржинского, уравнение смещённого равновесия). Мультисистемы. Применение правила фаз Коржинского для расчёта топологии мультисистем. Следствия уравнения смещённого равновесия: уравнение Клаузиуса-Клапейрона, закон действующих масс, уравнения изотермы и изобары химической реакции, методы построения физико-химических диаграмм и термодинамического расчёта фазовых равновесий. Активность, её связь с химическим потенциалом. Химическое равновесие в гетерогенных системах. Константы равновесия при различных выражениях состава системы. Уравнение изотермы химической реакции Вант-Гоффа. Стандартные изменения свободной энергии Гиббса и её связь с константами равновесия.</p> <p><i>Основные приложения термодинамики в геохимии.</i> <i>а) Термодинамические расчёты.</i> Химическое равновесие. Свободная энергия Гиббса как критерий направленности природных процессов. Зависимость тепловых эффектов реакций от температуры. Стандартные изменения энергии Гиббса и её связь с константами равновесия. Постулат Планка. Абсолютные энтропии и способы их вычисления. Расчёт твёрдо-фазовых реакций. Расчёт реакций гидратации (дегидратации) и карбонатизации (декарбонатизации). Расчёт реакций с участием вполне подвижного компонента. Расчёт констант равновесия по термохимическим данным при различных температурах. Окислительно-восстановительные реакции и построение Eh-pH диаграмм. <i>б) Распределение химических элементов между фазами в условиях равновесия.</i> Понятия коэффициента распределения, зависимость от температуры и давления. Представление о геотермометрах и геобарометрах.</p> <p><i>Термодинамика магматических процессов.</i> Типы диаграмм плавкости и кристаллизации (2-х и 3-х компонентные). Связь типа диаграмм состояния системы с термодинамическими свойствами компонентов.</p>	лекции, практические занятия
---	---	---------------------------------

	<p>Диаграммы состояния систем с летучими. Влияние давления на температуру плавления минералов и горных пород. Влияние летучих и вполне подвижных компонентов на положение солидуса, ликвидуса и на состав эвтектики силикатных систем. Теория Д.С. Коржинского о кислотно-основном взаимодействии компонентов в расплаве. Термодинамика процессов ликвации магматических расплавов.</p> <p><i>Растворы: основные понятия, уравнения и введение в термодинамику твёрдых растворов.</i> Мольные и парциальные мольные величины молекулярных растворов Термодинамические функции (мольные и парциальные) смешения идеальных растворов: энтропии, энтальпии, объёма и свободной энергии Гиббса. Избыточные термодинамические функции (мольные и парциальные) реальных растворов: энтропии, энтальпии, объёма и свободной энергии Гиббса. Химический потенциал и активность компонента твёрдого раствора. Конфигурационная энтропия. Внутрикристаллическое упорядочение. Неидеальные растворы. Степенные ряды Гугенгейма. Уравнение Маргулеса.</p> <p><i>Основы линейной необратимой термодинамики.</i> Обратимые и необратимые процессы. Принцип мозаичного или локального равновесия Д.С. Коржинского. Основное уравнение необратимой термодинамики. Принципы Онзагера. Стационарные состояния и теорема Пригожина.</p>	
7	<p>Минералогия</p> <p>Основы минералогенеза, онтогенеза и филогения минералов. Главные породообразующие минералы. Минералогия земной коры и глубинных геосфер Земли. Минеральный состав космического вещества Солнечной системы. Вещественный состав лунной коры и современные методы его исследования.</p>	лекции
8	<p>Экологическая геохимия</p> <p>Методы оценки экологического риска при различных типах загрязнения. Анализ приоритетных контролируемых параметров окружающей среды, необходимых для получения целостной картины экологической безопасности территории. Оценка аналитических методов контроля за состоянием окружающей среды, концепция и структура системы мониторинга, принципы ее функционирования. Роль мониторинга в анализе и предупреждении опасного развития последствий глобальных антропогенных воздействий. Оценка закрепленных в ГОСТ лабораторных методов определения основных физико-химических параметров в объектах окружающей среды (воздух, вода, почвы). Основные источники экологической опасности при различных производствах, оценка вклада поллютантов в существующие круговороты элементов.</p>	лекции, практические занятия

	<p>Оценка стандартных алгоритмов расчета опасных воздействий и токсичности, методов определения воздействия на организм человека, классы опасности химических веществ, ПДК, ПДВ. Методы установления ПДК, типы ПДК, пороговая концентрация острого и хронического действия, совместное действие токсических веществ, аддитивное воздействие. Первичное и вторичное загрязнения. Экологическое нормирование. Предельно-допустимая экологическая нагрузка, критерии оценки. Диагностика и эффективный химико-аналитический контроль объектов окружающей среды. Общие экологические требования к производствам, основы экологической экспертизы проектов. Возможные алгоритмы расчета ущербов: плата, штрафы, индексы превышенного загрязнения.</p> <p>Методы снижения экологического риска от загрязнения окружающей среды, методы очистки производственных выбросов в атмосферу, гидросферу. Принципы создания комплексных малоотходных технологий. Разработка замкнутых циклов использования природных ресурсов.</p>	
9	<p>Кристаллография</p> <p>Элементы симметрии кристаллов. Типы решеток Браве. Элементарная ячейка, межатомные и межплоскостные расстояния в кристаллической структуре. Дальний и ближний порядок в кристаллах. Методы определения кристаллических структур. Типы химической связи в кристаллах.</p> <p>Элементы геометрической кристаллографии. Координационные полиэдры, координационные числа атомов в кристаллах. Тетраэдрические и октаэдрические структурные позиции. Принцип плотнейших шаровых упаковок. Гексагональная и кубическая плотнейшие упаковки атомов в кристаллических структурах. Примеры плотнейших упаковок атомов в структурах металлов, оксидов, сульфидов.</p> <p>Кристаллические структуры порообразующих силикатов. Силикаты с изолированными кремнекислородными тетраэдрами (оливин, гранат). Конденсация изолированных кремнекислородных тетраэдров с образованием структур цепочечных (пироксены), ленточных (амфиболы), каркасных (полевые шпаты) силикатов.</p> <p>Явление порядка-беспорядка в распределении атомов изоморфных элементов по разным типам октаэдрических позиций в кристаллической структуре. Степень порядка и коэффициенты межпозиционного распределения атомов изоморфных элементов. Температурная зависимость степени порядка. Распределение Fe^{2+} и Mg^{2+} между октаэдрическими позициями M1 и M2 в структуре оливина $(Mg^{2+}, Fe^{2+})_2SiO_4$ и в структуре ромбического пироксена $(Mg^{2+}, Fe^{2+})SiO_3$. Распределение катионов Fe^{2+} и Fe^{3+} между тетраэдрическими и октаэдрическими позициями в структуре магнетита $Fe^{2+}(Fe^{3+})_2O_4$.</p> <p>Явление изоморфизма и твердые растворы. Основные пары изоморфных элементов в минералах ($Fe^{2+} - Mg^{2+}$, $Ca - Mg$, $K - Na$). Изовалентный и гетеровалентный изоморфизм. Температурная зависимость пределов взаимной растворимости компонентов при образовании твердых растворов. Термодинамика твердых растворов и</p>	лекции

<p>типы фазовых диаграмм с ограниченной и неограниченной смесимостью изоморфных атомов. Понятие бинадали и спинодали. Кристаллографический контроль геометрии структур распада твердых растворов на примере изоморфных рядов клинопироксенов $(Ca\ Mg)_2Si_2O_6 - Mg_2Si_2O_6$ и титаномагнетитов $(Fe_3O_4 - Fe_2TiO_4)$. Полиморфизм. Преобразование кристаллической структуры в условиях высоких давлений. Сжимаемость и пределы стабильности кристаллической структуры. Фазы высокого давления в земной мантии и в метеоритах. Полиморфные модификации оливина (рингвудит, вадслеит), ортопироксена (мэйджорит), кремнезема SiO_2 (коэсит, стишовит).</p> <p>Реальная структура минералов. Нарушения дальнего порядка в кристалле: двойникование, малоугловые межзеренные границы, структуры распада твердых растворов, антифазные домены. Дефекты кристаллической структуры: точечные дефекты (структурные вакансии и интерстициальные атомы), линейные дефекты (дислокации), плоские (двумерные) дефекты. Точечные дефекты типа Френкеля и типа Шоттки. Образование точечных дефектов в оливине в результате гетеровалентных изоморфных замещений, в процессах окисления и восстановления, гидрогенизации и дегидрогенизации.</p> <p>Кристаллографические и кристаллохимические индикаторы P-T условий образования минералов. Анизотропия кристаллов и кристаллографический контроль посткристаллизационного преобразования минералов в неизотермических процессах. Диффузия атомов в кристалле, коэффициенты диффузии и влияние кристаллографической анизотропии на скорость диффузии. Зависимость степени посткристаллизационных преобразований (коэффициенты межпозиционного распределения изоморфных атомов в структуре кристалла; масштабы структур распада твердых растворов) от скорости остывания. Фазы высокого давления в метеоритах как индикатор высоких давлений в условиях коллизионных процессов в космосе.</p>	
---	--

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет. Основной контроль знаний осуществляется в процессе занятий (доклады, обсуждения, ответы на вопросы).

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература:

1. *Жарков В.Н.* Внутреннее строение земли и планет. Элементарное введение в планетную и спутниковую геофизику. «Наука и образование». Москва. 2013, 413 с.
2. *Додд Р.Т.* Метеориты. М.: Мир, 1986. 384 с.
3. *Жариков В.А.* Основы физической геохимии. М.: Изд. Московск. ун-та: Наука, 2005, 654 с

4. *Витязев А.В., Печерникова Г.В., Сафронов В.С.* Планеты земной группы. Происхождение и ранняя эволюция. М.: Наука, 1990. 295 с.
5. *Кусков О.Л., Дорофеева В.А., Кронрод В.А., Макалкин А.Б.* Системы Юпитера и Сатурна. Формирование, состав и внутреннее строение крупных спутников. Издательство ЛКИ, 2008. 574 с.
6. *Фор Г.* Основы изотопной геологии. М., "Мир". 1989.
7. *Григорьев Д.П., Жабин А.Г.* Онтогенез минералов. Индивиды: М:Наука, 1975 г
8. *Жабин А.Г.* Онтогенез минералов. Агрегаты: М:Наука, 1979 г
9. Planetary Materials. J.J. Papike, editor. Reviews in Mineralogy, Volume 36, Mineralogical Society of America, Washington, D.C., U.S.A. 2003. 1059 pp.
10. *White, W.M.* Geochemistry. 2005. 668pp.
11. Treatise on Geochemistry. Vol. 1. Meteorites, Comets and Planets. Ed. A.M. Davis, 2003.
12. *Филатов С.К., Кривовичев С.В., Бубнова Р.С.* Общая кристаллохимия. (2018). Изд-во СПбГУ. 276 с.
13. *Урусов В.С.* Теория изоморфной смесимости. (1977). Изд-во «Наука», 251 с.
14. *Хисина Н.Р.* Кристаллохимия фазовых превращений минералов. Краткий курс. (ред. акад. В.С. Урусов). (2004). Изд-во Московского университета. 96 с.

7.2. *Дополнительная литература:*

1. *Базилевский А.Т., Иванов Б.А., Флоренский К.П., Яковлев О.И., Фельдман В.И., Грановский Л.В.* Ударные кратеры на Луне и планетах. М.: Наука. 1983. 200 с.
2. *Виноградов А.П.* Атомные распространенности химических элементов Солнца и каменных метеоритов. В книге: А.П.Виноградов. *Избранные труды. Проблемы геохимии и космохимии.* М.: Наука, 1988, стр.91-97.
3. *Виноградов А.П.* Химическая эволюция Земли. В книге: А.П.Виноградов. *Избранные труды. Проблемы геохимии и космохимии.* М.: Наука, 1988, стр.118-143.
4. *Виноградов А.П.* Атмосферы планет солнечной системы. В книге: А.П.Виноградов. *Избранные труды. Проблемы геохимии и космохимии.* М.: Наука, 1988, стр.172-181.
5. *Войткевич Г.В.* Проблемы космохимии. Ростов: Изд-во Ростовского университета. 1987.
6. *Ксанфомалити Л.В., Сурдин В.Г.* Солнечная система Серия: Астрономия и астрофизика, 2012.
7. *Дорофеева В.А., Макалкин А.Б.* Летучие в ранней Солнечной системе. Космохимические и физические аспекты проблемы, изд-во Едиториал УРСС, 2003, 261 с.
8. *Маров М.Я.* Космос. От Солнечной системы вглубь вселенной. М. Физматлит. 2016. 531 с.
9. *Сурдин В.Г.* Динамика звездных систем. Издательство: МЦНМО Серия: Математическое просвещение. 2014г.

10. Мелош Г. Образование ударных кратеров: геологический процесс. М.: Мир. 1994. 336 с. (*Melosh H. J. Impact cratering - A geologic process. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, No 11. Oxford University Press. N.Y., Claredon Press. Oxford. 1989. 245 pp.*)
11. Термодинамическое моделирование в геологии . Минералы, флюиды и расплавы (под.ред. И.Кармайкла и Х.Ойгстерна) М.:Мир. 1992, 534 с.
12. Хендерсон П. Неорганическая геохимия. М., Мир, 1985.
13. Hoefs J. Stable Isotope Geochemistry. 2004. Springer. 243 P. (Хёфс Й. Геохимия стабильных изотопов. Мир. 1983. 200 С.)

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционный зал, аудитории, оборудованные персональными компьютерами с доступом в сеть «Интернет», мультимедийный проектор и экран для демонстрации презентаций.

9. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

9.1. Форма контроля знаний:

9.1.1. Текущий контроль знаний в течение всего курса осуществляется с помощью контрольных вопросов. Также учитывается личное выступление аспирантов с докладом в виде презентации по темам, предложенным преподавателем.

9.1.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (в конце курса обучения) проводится в виде экзамена (отведено 36 часов в учебном плане). Экзамен по дисциплине проходит по вопросам, составленным на основе программ-минимум кандидатского экзамена по научным специальностям "Минералогия, кристаллография», «Геохимия и геохимические методы поисков полезных ископаемых» и прочитанного преподавателями материала.

9.2. Критерии, показатели и средства оценивания планируемых результатов обучения.

9.2.1. Критерии и показатели оценивания результатов обучения

Планируемые результаты обучения		Знать: методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).	
Критерии и показатели оценивания результатов обучения	1	неудовлетворительно	Отсутствие знаний
	2	неудовлетворительно	Фрагментарные представления о методах критического анализа и оценках современных научных достижений, а также о методах генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач
	3	удовлетворительно	Неполные представления о методах критического анализа и оценках современных научных достижений, а также о методах генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач
	4	хорошо	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представлений о методах критического

			анализа и оценках современных научных достижений, а также о методах генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач
	5	отлично	Сформированные систематические представления о методах критического анализа и оценках современных научных достижений, а также о методах генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач

Планируемые результаты обучения			Уметь: анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач (УК-1).
Критерии и показатели оценивания результатов обучения	1	неудовлетворительно	Отсутствие умений
	2	неудовлетворительно	Частично освоенное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач
	3	удовлетворительно	В целом успешно, но не систематически осуществляемые анализ альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач
	4	хорошо	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы анализа альтернативных вариантов решения исследовательских и практических задач
	5	отлично	Сформированное умение анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач

Планируемые результаты обучения			Владеть: навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1).
Критерии и показатели оценивания результатов обучения	1	неудовлетворительно	Отсутствие навыков
	2	неудовлетворительно	Фрагментарное применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач
	3	удовлетворительно	В целом успешное, но не систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач
	4	хорошо	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применения навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач

	5	отлично	Успешное и систематическое применение навыков анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач
--	---	---------	--

Планируемые результаты обучения			Знать: современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности. (ПК-1).
Критерии и показатели оценивания результатов обучения	1	неудовлетворительно	Отсутствие знаний
	2	неудовлетворительно	Фрагментарные представления о современных способах использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности
	3	удовлетворительно	В целом успешные, но не систематические представления о современных способах использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности
	4	хорошо	В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы представления о современных способах использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности.
	5	отлично	Сформированные представления о современных способах использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности

Планируемые результаты обучения			Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования (ПК-1).
Критерии и показатели оценивания результатов обучения	1	неудовлетворительно	Отсутствие умений
	2	неудовлетворительно	Фрагментарное использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи
	3	удовлетворительно	В целом успешное, но не систематическое использование умения выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи
	4	хорошо	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы использования умения выбирать и применять экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи
	5	отлично	Сформированное умение выбирать и использовать экспериментальные и расчетно-теоретические методы для решения научной задачи

			задачи
--	--	--	--------

Планируемые результаты обучения			Знать: современное состояние науки в области геохимии, минералогии, кристаллографии и геохимических методов поиска полезных ископаемых (ПК-1).
Критерии и показатели оценивания результатов обучения	1	неудовлетворительно	Отсутствие знаний
	2	неудовлетворительно	Фрагментарные представления о современном состоянии науки в области геохимии и геохимических методов поиска полезных ископаемых
	3	удовлетворительно	Неполные представления о современном состоянии науки в области геохимии и геохимических методов поиска полезных ископаемых
	4	хорошо	Сформированные представления, но содержащие отдельные пробелы представления о современном состоянии науки в области геохимии и геохимических методов поиска полезных ископаемых
	5	отлично	Сформированные систематические представления о современном состоянии науки в области геохимии и геохимических методов поиска полезных ископаемых

Планируемые результаты обучения			Владеть: методами планирования, подготовки, проведения научно-исследовательской работы по научной специальности 1.6.4 «Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поиска полезных ископаемых» (ПК-1).
Критерии и показатели оценивания результатов обучения	1	неудовлетворительно	Отсутствие навыков
	2	неудовлетворительно	Фрагментарное применение методов планирования, подготовки и проведения научно-исследовательской работы
	3	удовлетворительно	В целом успешное, но не систематическое применение методов планирования, подготовки и проведения научно-исследовательской работы
	4	хорошо	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применения методов планирования, подготовки и проведения научно-исследовательской работы
	5	отлично	Успешное и систематическое применение методов планирования, подготовки и проведения научно-исследовательской работы

Планируемые результаты обучения			Владеть: навыками анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций при выполнении научных исследований (ПК-2).
Критерии и показатели	1	неудовлетворительно	Отсутствие навыков
	2	неудовлетворительно	Фрагментарные представления об анализе

оценивания результатов обучения			полученных данных, отсутствие навыков обобщения результатов выполненных научных исследований
	3	удовлетворительно	В целом успешное, но не систематическое применение методов анализа полученных данных, есть некоторые неточности при формулировке выводов
	4	хорошо	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применения методов анализа полученных данных, формулировки выводов по результатам выполненных научных исследований
	5	отлично	Успешное и систематическое применение методов анализа и обобщения экспериментальных и расчетных данных, формулировка выводов и рекомендаций по результатам выполненных научных исследований

9.2.2. *Оценочные средства* (в виде устных вопросов, докладов).

9.2.2.1. Перечень примерных вопросов для текущего контроля знаний

1. Какие методы используются для определения химического состава солнечной атмосферы и других звезд?
2. Основные стадии эволюции звезд, что такое «сверхновая звезда», взрыв «сверхновой»?
3. Процессы нуклеосинтеза в звездах, относительная распространенность элементов в солнечной атмосфере.
4. Основные закономерности распространенности нуклидов в зависимости от атомного номера.
5. Что такое «солнечный состав» (солнечная распространенность элементов)?
6. Какие соотношения основных элементов в телах Солнечной системы служат индикатором процессов их дифференциации?
7. Как меняются главные термодинамические параметры в процессе формирования тел Солнечной системы?
8. Каким образом оценивается продолжительность основных этапов формирования тел Солнечной системы?
9. Какие методы химической термодинамики используются для моделирования процессов конденсации газа солнечного состава, что демонстрируют основные результаты моделирования?
10. Основные стадии эволюции околосолянного протопланетного диска.
11. Поведение летучих в процессе дифференциации и аккумуляции вещества ранней Солнечной системы.
12. Классификация метеоритов, их минералогия и геохимия. Причина их разнообразия, природа рефракторных включений (CAI) в метеоритах.
13. Хондритовая модель Земли.
14. Родительские тела для разных типов метеоритов, какие процессы дифференциации протекают на них?
15. Как определяется космический ("экспозиционный") возраст метеоритов?

16. Роль ударных процессов в формировании планетных тел.
17. Состав и строение Земли, распределение химических элементов между оболочками Земли. Геохимические классификации элементов.
18. Геохимические свидетельства гетерогенности мантии Земли, ее причины.
19. Основные особенности химической дифференциации ранней Земли, происхождение и эволюция внешних оболочек планеты (коры, гидросферы и атмосферы).
20. Имеющиеся данные о строении и химическом составе Луны, гипотезы ее происхождения.
21. Данные о присутствии воды на Луне, какова ее природа?
22. Планеты земного типа и планеты гиганты – особенности их формирования.
23. Спутники Юпитера и Сатурна. Механизм формирования спутниковых систем. Вулканическая деятельность на этих спутниках
24. Почему Титан может служить моделью ранней Земли?
25. Основные типы астероидов: их строение, состав, методы и основные результаты изучения. Астероидная опасность.
26. Кометы Облака Оорта. Короткопериодические кометы. Что мы знаем о Комете Чурюмова-Герасименко по результатам космических экспериментов?
27. Какими методами находят «экзопланеты»? Что такое «зоны обитания»?
28. Основные методы изучения внеземного вещества и космических объектов.
29. Причины вариаций изотопного состава элементов в природе.
30. Изотопы и изобары. Виды радиоактивного распада. Уравнение радиоактивного распада. Период полураспада и константа распада.
31. Основные предпосылки для заметного фракционирования изотопов в природе. Виды изотопных эффектов.
32. Изотопный состав кислорода и водорода в гидросфере, земной коре и мантии Земли и планетах Солнечной системы.
33. Использование изотопных данных для датировки различных космогонических процессов – основные методы и важнейшие ограничения
34. Абсолютный возраст Солнечной системы, метеоритов, Земли и Луны.
35. Роль короткоживущих радиоактивных изотопов в процессах дифференциации вещества в ранней Солнечной системе.
36. Возможности и ограничения термодинамики равновесных процессов при анализе природных систем.
37. Система. Типы систем. Компоненты. Фазы. Свойства систем. Законы термодинамики.
38. Энтропия. Способы определения. Методы оценки.
39. Стандартное состояние. Стандартная свободная энергия вещества. Изменение свободной энергии реакции как функции стандартной свободной энергии и текущих значений активностей.
40. Зависимость энтальпии, энтропии и свободной энергии реакции от температуры. Свободная энергия образования вещества. Учет фазовых переходов.
41. Возможные варианты приближений при расчетах зависимости константы равновесия реакции от температуры.
42. Способы представления температурной зависимости теплоемкости. Функция Шомейта.
43. Приведенная энергия Гиббса и свободная энергия Гиббса. Принцип соответствия энтропий ионов.
44. Учет влияния давления на константу равновесия. Реакции с участием твердых фаз. Возможные допущения при расчетах при повышенных T и P .
45. Определение константы диссоциации при условии, что изменение изотермической сжимаемости равно нулю и константе.
46. Оценка констант диссоциации при повышенных T и P . Основные тенденции изменения $\ln K$ при повышении T и P .

47. Летучесть и коэффициент летучести. Экспериментальное определение. Уравнение Тэйта.
48. Методы экспериментального определения коэффициентов активности электролитов. Средний ионный коэффициент активности и коэффициенты активности индивидуальных ионов. Допущение Мак Иннеса.
49. Теория Дебая-Хюккеля. Уравнения теории Дебая-Хюккеля и пределы их применимости. Понятие о модели природного раствора.
50. Ионная сила раствора. Применимость уравнений теории Дебая-Хюккеля при повышенных температурах. Представление о среднем расстоянии сближения ионов.
51. Связь между концентрационными и термодинамическими константами равновесия. Способы экстраполяции на нулевую ионную силу.
52. Конгруэнтная и инконгруэнтная растворимость соединений. Принципиальный вид трехкомпонентной диаграммы растворимости с конгруэнтно (инконгруэнтно), растворяющимися соединениями.
53. Способы изображения составов в трехкомпонентных системах. Принципиальный вид диаграммы и анализ поведения фигуративной точки при испарении в трехкомпонентной системе с несколькими инконгруэнтно растворяющимися соединениями.
54. Устойчивость минералов как функция парциального давления газов. Возможности и ограничения при применении диаграмм парциальных давлений в геохимии.
55. Основные соотношения термодинамических функций при анализе окислительно-восстановительных реакций. Стандартный водородный потенциал. Диаграммы Eh-pH.
56. Понятие о геологической, физико-химической и математической моделях. Классификация существующих алгоритмов для расчета равновесий в многокомпонентных гетерогенных системах.
57. Исходная информация для расчета равновесий в многокомпонентных гетерогенных системах на ЭВМ. Возможности и ограничения термодинамического моделирования при анализе природных процессов.

Примерный список вопросов к разделу «Минералогия»

58. Движущая сила процесса кристаллизации и механизмы роста кристаллов
59. Текстуры и структуры минеральных агрегатов
60. Типы и механизмы фазовых превращений в кристаллах минералов.
61. Что такое изоморфизм с примерами
62. Что такое полиморфизм с примерами
63. Основные минералы Луны и гипотеза лунного океана магмы
64. Почему SNC метеориты (шерготтиты, наклиты, шассиньиты) считаются марсианскими?
65. Что такое внесолнечные зерна?
66. Последовательность кристаллизации минералов низкощелочных магматических пород – ряд кристаллизации Боуэна.

Примерный список вопросов к разделу «Экологическая геохимия»

67. Техносфера и ноосфера. Учения Вернадского об изменениях в Биосфере.
68. Ртуть в Биосфере. Особенности миграции и аккумуляция.
69. Загрязнение природных сред ионами металлов.
70. Мониторинг природных объектов. Виды и типы, особенности проведения.
71. Пробоотбор и анализ 1-го дня. Проблемы и развитие.
72. Развитие современных методов химического анализа.
73. Государственные стандарты в оценке содержания элементов в природных средах.
74. Фоновые концентрации, кларк и среднее содержание - развитие терминологии в геоэкологии.

75. Особенности нефтяного загрязнения вод и почв.
76. Мониторинг почв. Кислотность почв и ее определение.

Примерный список вопросов к разделу «Кристаллография»

77. Координационные полиэдры, координационные числа атомов в кристаллах. Тетраэдрические и октаэдрические структурные позиции.
78. Принцип плотнейших шаровых упаковок. Гексагональная и кубическая плотнейшие упаковки атомов в кристаллических структурах. Примеры плотнейших упаковок атомов в структурах металлов, окислов, сульфидов.
79. Типы точечных дефектов кристаллической структуры.
80. Фазы высокого давления в земной мантии и в метеоритах. Полиморфные модификации оливина (рингвудит, вадслеит), ортопироксена (мэйджорит), кремнезема SiO_2 (коэсит, стишовит).
81. Явление порядка-беспорядка в распределении атомов изоморфных элементов по разным типам октаэдрических позиций в кристаллической структуре. Распределение Fe^{2+} и Mg^{2+} между октаэдрическими позициями M1 и M2 в структуре оливина $(\text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+})_2\text{SiO}_4$ и в структуре ромбического пироксена $(\text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+})\text{SiO}_3$.
82. Явление изоморфизма и твердые растворы. Основные пары изоморфных элементов в породообразующих минералах (Fe^{2+} - Mg^{2+} , Ca – Mg, K – Na). Примеры. Изовалентный и гетеровалентный изоморфизм.
83. Кристаллические структуры породообразующих силикатов. Конденсация изолированных кремнекислородных тетраэдров с образованием структур цепочечных (пироксены), ленточных (амфиболы), каркасных (полевые шпаты) силикатов.
84. Кристаллографические и кристаллохимические индикаторы P-T условий образования минералов.

9.2.2.2. Во время обучения по дисциплине аспиранту может быть предложено подготовить материал и выступить с докладом (в виде презентации) по одной или двум темам из предложенного ниже списка:

1. Рождение звезд, классификация, время жизни, их химический состав и основные стадии эволюции. Место Солнечной системы в космосе.
2. Межзвездное газопылевое облако - общий источник вещества тел Солнечной системы. Химический состав околосолнечного протопланетного диска. Классическая (стандартная) модель образования Солнечной системы.
3. Летучие в Солнечной системе. Механизмы дифференциации и аккумуляции летучих. Эволюция летучих от досолнечной фазы до образования планет и спутников.
4. Хондриты как строительный материал Земли.
5. Железные и железокаменные метеориты. Процессы дифференциации на их родительских телах.
6. Ударные процессы в истории Земли, их роль в химической дифференциации планетного вещества.
7. Химический состав мантии Земли; проблема ее геохимической гетерогенности.
8. Химический состав лунных пород, вода на Луне, гипотезы образования Луны.
9. Современные представления о источниках летучих компонентов внешних оболочек планет земного типа.
10. Вулканизм на спутниках планет-гигантов.
11. Астероиды Главного пояса астероидов, их строение, состав, методы и основные результаты изучения.
12. Кометы, их классификация, строение, состав. Основные результаты изучения кометы Чурюмова-Герасименко и других комет с помощью космических аппаратов.

13. Роль радиоактивных элементов в процессе дифференциации вещества планетезималей и планетных тел.
14. Использование изотопных данных для датировки различных космогонических процессов. Абсолютный возраст Солнечной системы, метеоритов, Земли и Луны.
15. Основные виды минеральных геотермометров и геобарометров, используемых в геохимии и космохимии.
16. Типы диаграмм плавкости и кристаллизации (2-х и 3-х компонентные системы). Влияние давления, летучих и вполне подвижных компонентов на фазовые равновесия в силикатных системах (положение солидуса, ликвидуса, состав эвтектики).

9.2.5.3. Примерный перечень вопросов для сдачи экзамена:

1. Химический состав солнечной атмосферы и других звезд, методы, используемые для его определения.
2. Происхождение химических элементов. Процессы нуклеосинтеза в звездах, относительная распространенность элементов в солнечной атмосфере.
3. Какие соотношения основных элементов в телах Солнечной системы служат индикатором процессов их дифференциации?
4. Изменение основных термодинамических параметров в процессе формирования тел Солнечной системы?
5. Методы химической термодинамики, используемые для моделирования процессов конденсации газа солнечного состава, основные результаты моделирования.
6. Основные стадии эволюции околосоляного протопланетного диска.
7. Классификация метеоритов, их минералогия и геохимия. Причина их разнообразия, природа рефракторных включений (CAI) в метеоритах.
8. Космический ("экспозиционный") возраст метеоритов, методы его определения.
9. Роль ударных процессов в формировании планетных тел. Химическая дифференциация планетарного вещества при высокоскоростных ударных событиях.
10. Состав и строение Земли, распределение химических элементов между оболочками Земли. Геохимические классификации элементов.
11. Геохимические свидетельства гетерогенности мантии Земли, ее причины.
12. Основные особенности химической дифференциации ранней Земли, происхождение и эволюция внешних оболочек планеты (коры, гидросферы и атмосферы).
13. Имеющиеся данные о химическом составе и строении Луны, гипотезы ее происхождения.
14. Планеты земного типа и планеты гиганты – особенности их формирования.
15. Спутники Юпитера и Сатурна. Механизм формирования спутниковых систем. Вулканическая деятельность на этих спутниках
16. Основные типы астероидов: их строение, состав, методы и основные результаты изучения. Астероидная опасность.
17. Кометы Облака Оорта. Короткопериодические кометы. Данные о Комете Чурюмова-Герасименко по результатам космических экспериментов.
18. Основные методы изучения внеземного вещества и космических объектов.
19. Причины вариаций изотопного состава элементов в природе.
20. Изотопы и изобары. Виды радиоактивного распада. Уравнение радиоактивного распада. Период полураспада и константа распада.
21. Основные предпосылки для заметного фракционирования изотопов в природе. Виды изотопных эффектов.
22. Использование изотопных данных для датировки различных космогонических процессов – основные методы и важнейшие ограничения.

23. Роль короткоживущих радиоактивных изотопов в процессах дифференциации вещества в ранней Солнечной системе.
24. Возможности и ограничения термодинамики равновесных процессов при анализе природных систем.
25. Стандартное состояние. Стандартная свободная энергия вещества. Изменение свободной энергии реакции как функции стандартной свободной энергии и текущих значений активностей.
26. Возможные варианты приближений при расчетах зависимости константы равновесия реакции от температуры.
27. Способы представления температурной зависимости теплоемкости. Функция Шомейта.
28. Учет влияния давления на константу равновесия. Реакции с участием твердых фаз. Возможные допущения при расчетах при повышенных T и P .
29. Определение константы диссоциации при условии, что изменение изотермической сжимаемости равно нулю и константе.
30. Летучесть и коэффициент летучести. Экспериментальное определение. Уравнение Тэйта.
31. Методы экспериментального определения коэффициентов активности электролитов. Средний ионный коэффициент активности и коэффициенты активности индивидуальных ионов. Допущение Мак Иннеса.
32. Ионная сила раствора. Применимость уравнений теории Дебая-Хюккеля при повышенных температурах. Представление о среднем расстоянии сближения ионов.
33. Связь между концентрационными и термодинамическими константами равновесия. Способы экстраполяции на нулевую ионную силу.
34. Конгруэнтная и инконгруэнтная растворимость соединений. Принципиальный вид трехкомпонентной диаграммы растворимости с конгруэнтно (инконгруэнтно), растворяющимися соединениями.
35. Способы изображения составов в трехкомпонентных системах. Принципиальный вид диаграммы и анализ поведения фигуративной точки при испарении в трехкомпонентной системе с несколькими инконгруэнтно растворяющимися соединениями.
36. Устойчивость минералов как функция парциального давления газов. Возможности и ограничения при применении диаграмм парциальных давлений в геохимии.
37. Основные соотношения термодинамических функций при анализе окислительно-восстановительных реакций. Стандартный водородный потенциал. Диаграммы $Eh-pH$.
38. Понятие о геологической, физико-химической и математической моделях. Классификация существующих алгоритмов для расчета равновесий в многокомпонентных гетерогенных системах.
39. Исходная информация для расчета равновесий в многокомпонентных гетерогенных системах на ЭВМ. Возможности и ограничения термодинамического моделирования при анализе природных процессов.
40. Аналитические методы, применяемые в геохимии, оптимальный их выбор. Оценка представительности результатов.
41. Причины смещения изотопных отношений: разделение изотопов в ходе физических и химических процессов; термодинамические и кинетические изотопные эффекты
42. Процессы радиоактивного распада (основное уравнение радиоактивного распада, периоды полураспада). Используемые изотопные системы в геохронологии.
43. Радиоуглеродный и калий-аргоновый метод. Рубидий-стронциевый и самарий-неодимовый методы. Уравнение изохронны.
44. $U-Pb$ и $Th-Pb$ изотопные системы (цирконометрия). Интерпретация геохронологических данных. Возраст Земли и метеоритов.

45. Геохимия изотопов легких элементов (H, O, S, C, N). Изотопные критерии источников вещества рудных месторождений.
46. Разделение элементов в процессах генерации и кристаллизации магм и других процессов фазового перехода (магматическая дистилляция, образование несмешивающихся расплавов).
47. Магматизм областей сочленения океанов и континентов (источники магм, роль летучих компонентов, особенности изотопного состава).
48. Физико-химические параметры гидротермальных растворов. Их агрегатное состояние, критические явления.
49. Растворение твердых веществ и газов в гидротермальных растворах. Формы присутствия различных рудных металлов и петрогенных элементов.
50. Факторы отложения рудного вещества. Влияние изменений кислотности и окислительно-восстановительных условий.
51. Геохимическая классификация осадочных образований. Относительная распространенность различных типов осадочных пород.
52. Физико-химические факторы литогенеза (температура, давление, состав вод и атмосферы, окислительно-восстановительные условия, кислотность, роль живого вещества).
53. Биосфера, ее химический состав, состав и масса живого вещества. Геохимическая роль живого вещества.
54. Группы органических соединений, их распространенность, условия и формы накопления. Геохимические аспекты происхождения нефти и газов, роль органических и неорганических процессов.
55. Биогеохимические провинции. Человек и окружающая биогеохимическая среда. Понятие о ноосфере.
56. Геохимические циклы и факторы, их определяющие. Эволюция геохимических процессов в течение геологического времени.
57. Геохимические методы поиска месторождений полезных ископаемых (литохимические, гидрохимические, атмосферические, биогеохимические и др.).
58. Движущая сила процесса кристаллизации и механизмы роста кристаллов
59. Текстуры и структуры минеральных агрегатов
60. Типы и механизмы фазовых превращений в кристаллах минералов.
61. Что такое изоморфизм с примерами
62. Что такое полиморфизм с примерами
63. Основные минералы Луны и гипотеза лунного океана магмы
64. Почему SNC метеориты (шерготтиты, наклиты, шассиньиты) считаются марсианскими?
65. Что такое внесолнечные зерна?
66. Последовательность кристаллизации минералов низкощелочных магматических пород – ряд кристаллизации Боуэна.
67. Координационные полиэдры, координационные числа атомов в кристаллах. Тетраэдрические и октаэдрические структурные позиции.
68. Принцип плотнейших шаровых упаковок. Гексагональная и кубическая плотнейшие упаковки атомов в кристаллических структурах. Примеры плотнейших упаковок атомов в структурах металлов, окислов, сульфидов.
69. Типы точечных дефектов кристаллической структуры.

70. Фазы высокого давления в земной мантии и в метеоритах. Полиморфные модификации оливина (рингвудит, вадслеит), ортопироксена (мэйджорит), кремнезема SiO_2 (коэсит, стишовит).
71. Явление порядка-беспорядка в распределении атомов изоморфных элементов по разным типам октаэдрических позиций в кристаллической структуре. Распределение Fe^{2+} и Mg^{2+} между октаэдрическими позициями M1 и M2 в структуре оливина (Mg^{2+} , Fe^{2+}) $_2\text{SiO}_4$ и в структуре ромбического пироксена (Mg^{2+} , Fe^{2+}) SiO_3 .
72. Явление изоморфизма и твердые растворы. Основные пары изоморфных элементов в породообразующих минералах (Fe^{2+} - Mg^{2+} , Ca - Mg, K - Na). Примеры. Изовалентный и гетеровалентный изоморфизм.
73. Кристаллические структуры породообразующих силикатов. Конденсация изолированных кремнекислородных тетраэдров с образованием структур цепочечных (пироксены), ленточных (амфиболы), каркасных (полевые шпаты) силикатов.
74. Кристаллографические и кристаллохимические индикаторы P-T условий образования минералов.

Автор (ы) рабочей программы дисциплины «Современные проблемы геохимии, минералогии, кристаллографии и геохимических методов поиска полезных ископаемых»:

доктор химических наук Дорофеева Вера Алексеевна,

кандидат геолого-минералогических наук Яковлев Олег Иванович,

кандидат геолого-минералогических наук Бадюков Дмитрий Дмитриевич,

доктор геолого-минералогических наук Луканин Олег Александрович,

кандидат химических наук Дину Марина Ивановна,

доктор геолого-минералогических наук Хисина Наталия Рафаиловна,

кандидат геолого-минералогических наук Демидова Светлана Ивановна.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ листа изменений или наименование элемента приложения	№ протокола Ученого Совета (секции Уч. Совета)	Дата заседания Ученого Совета (секции Уч. Совета)	Всего листов в документе	Подпись зам. директора по научной работе