

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан Геологического факультета
академик

_____/Д.Ю.Пушаровский/
«__» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Геохимия гидротермального рудообразования

Автор-составитель: Алехин Ю.В.

Уровень высшего образования:
Магистратура

Направление подготовки:
05.04.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:
Геохимия

Магистерская программа
Геохимия

Форма обучения:
Очная

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

Москва 20__

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 от 30 декабря 2016 г.

Год приема на обучение – 2019.

© 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 освоения дисциплины «Геохимия гидротермального рудообразования» заключается в овладении современными методами исследования природных рудных объектов и геохимических процессов рудообразования на основе принципов физической геохимии и термодинамики.

Задачи: рассмотрение экспериментальных данных и расчетных методов получения и оценки термодинамических констант гетерогенных равновесий, а также динамики явлений переноса с целью создания физико-химических моделей рудного процесса и образования рудных залежей, идентичных по главным наблюдаемым геохимическим характеристикам природным объектам.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный блок, обязательные дисциплины, курс – I, семестр – 1.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин программы бакалавриата «Общая геология», «Минералогия», «Петрология», «Неорганическая химия», «Коллоидная химия», «Физическая геохимия», «Геохимия», «Геолого- промышленные типы месторождений металлических полезных ископаемых», «Экспериментальная геохимия».

Дисциплина необходима в качестве предшествующей для дисциплины «Моделирование природных процессов на ЭВМ», других дисциплин магистерской программы «Геохимия», а также 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-4.М. Способность применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки (формируется частично).

СПК-3.М. Способность разрабатывать геохимические модели природных объектов, прогнозировать поведение химических элементов в природных процессах (формируется частично).

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать: 1. Геохимические особенности гидротермальных образований. Термодинамическую и физико-химическую специфику гидротермальных процессов в сравнении с процессами магматизма, метаморфизма и метасоматоза.

2. Глубины развития гидротермальных систем, флюидное давление, локальное давление на каркас горных пород, парциальные давления газов. Гидродинамические причины движения растворов и особенности их реализации в пористых средах.

3. Температурный режим для гидротермального процесса как функция тепломассопереноса.

4. Процессы перераспределения элементов в системе расплав – твердые фазы – флюид и генетические связи между плавлением, кристаллизацией расплавов и флюидным режимом. Системы с отделением флюидов при равновесной и фракционной кристаллизации.

5. Последовательности отделения газов при эманационной дифференциации с учетом гетерофазности флюидов. Изменения в режиме летучих компонентов и их роль в процессах постмагматической дифференциации. Межфазное распределение халькофильных и литофильных элементов.

Уметь: 1. Использовать физико-химические расчеты для оценки распределения миграционных форм элементов; строить и интерпретировать диаграммы рН-Еh для заданных систем. 2. Рассчитывать растворимость газов в воде и в гидротермальных растворах.

3. Анализировать топологию фазовых диаграмм в системах типа вода – газ – соль – минеральная фаза. 4. Объяснить принципы анализа состава модельного гидротермального флюида на диаграммах с критическими явлениями в насыщенных и ненасыщенных растворах и причины гетерофазности гидротермальных флюидов.

Иметь опыт: 1. Описания механизмов массопереноса в гидротермальных системах с анализом действующих сил теплопереноса и достигаемых стационарных состояний при учете конвекции и обобщенной диффузии в гидротермальных системах с процессами конвективной диффузии, фильтрации и бародиффузии (знать уравнения переноса), а также термоосмоса и термодиффузии. 2. Расчета осмотического давления и массопереноса при осмотической фильтрации и концентрационной диффузии (законы Фика) с учетом фильтрационных эффектов разделения в электрическом поле потенциала течения растворов.

4. Формат обучения – лекционные и семинарские занятия, самостоятельная работа студентов.

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часа, в том числе 56 академических часов, отведенных на аудиторную контактную работу обучающихся с преподавателем (14 часов – занятия лекционного типа, 42 часа – занятия семинарского типа), 16 академических часа - самостоятельная работа 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):

Дисциплина «Геохимия гидротермального рудообразования» направлена на овладение современными методами исследования рудных объектов и геохимических процессов рудообразования на основе принципов физической геохимии и термодинамики. Закрепляются основные представления и законы линейной неравновесной термодинамики; в терминах потоков, сил и кинетических коэффициентов, рассматриваются особенности стационарных состояний, к которым при развитии стремятся все гидротермальные системы. Приводятся и анализируются оценки величин всех физико-химических параметров, существенных для рудообразования, включая градиенты интенсивных параметров и константы главных гетерогенных равновесий с обсуждением влияния температуры, давления и состава на состояние гидротермальных систем. Анализируются доступные для физико-химического моделирования данные по формам переноса и эволюции состава комплексов рудных и нерудных элементов в гидротермальных процессах, приводятся примеры анализа обобщенных моделей, конкретные ведущие процессы на гидротермальных месторождениях основных рудных формаций.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем)				
		Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Раздел 1. Физическая геохимия природных процессов как предмет и метод. Специфика гидротермального рудообразования и состояние воды в магматических расплавах.		2	-	6	8	Ознакомление со списком работ, рекомендуемых для детального изучения и общего, 2 часа
Раздел 2. Состояние воды и растворенных компонентов в рудообразующих системах.		2	-	6	8	1 расчетно-графическая работа, 2 часа
Раздел 3. Коллоидно-химические аспекты и особенности гидротермальных образований и фазовых равновесий в пространстве пор пород.		2	-	6	8	1 расчетно-графическая работа, 2 часа
Раздел 4. Механизмы тепломассопереноса в поровом пространстве и трещинах пород		2	-	6	8	Подготовка к контрольному опросу, 1 час
Раздел 5. Доминирующие формы переноса основных рудных и нерудных компонентов		2	-	6	8	Подготовка к контрольному опросу, 1 час
Раздел 6. Процессы сопряжения рудообразования и метасоматоза		2	-	6	8	Подготовка к контрольному опросу, 2 часа
Раздел 7. Геохимические закономерности рудообразования в отдельных рудных формациях		2	-	6	8	Подготовка к контрольному опросу, 2 часа
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>	4					4
Итого	72	56				16

Содержание разделов дисциплины:

1. Физическая геохимия природных процессов как предмет и метод. Её значение в современной геохимии рудообразования. Геохимические особенности гидротермальных образований. Специфические задачи термодинамики и физической химии при изучении гидротермальных процессов. Основные параметры и среда гидротермального процесса, источники количественных данных. Глубины развития гидротермального процесса, флюидное давление, давление на каркас горных пород. Причины движения растворов и особенности их динамики. Температурный режим гидротермального процесса как функция тепломассопереноса. Химия и физическая химия флюидных включений. Главные компоненты гидротермальных флюидов и концентрации рудных элементов в них. (4 час)

Состояние воды в расплавах (магмах). Флюидный режим при кристаллизации расплавов. Процессы перераспределения элементов в системе расплав – твердые фазы – флюид. Генетические связи между плавлением, кристаллизацией расплавов и флюидным режимом. Магматические системы с равновесной и фракционной кристаллизацией. Эманационная дифференциация и гетерофазность флюидов. Режим летучих компонентов и их роль в процессах постмагматической дифференциации. Межфазное распределение халькофильных и литофильных элементов. (4 час)

2. Вода как основной растворитель, ее структура и свойства как функция температуры и давления, теории ассоциации и водородные связи. Диэлектрическая проницаемость воды и водяного пара и их способность к ионизации растворенных веществ. Гидратация ионов. Влияние плотности воды на растворимость. Доля свободных ионов при различных температурах, ионные пары и ассоциация ионов. Сильные электролиты. Вода как амфипротонное вещество и ее кислотно-основные свойства. Вязкость воды и водяного пара, влияние растворенных веществ на плотность и вязкость растворов. Электролитическая диссоциация и константы диссоциации кислот и оснований в гидротермальных условиях. Типы взаимодействия, растворенного и растворителя. (4 час)

Растворимость газов в воде и гидротермальных растворах. Топология фазовых диаграмм в системах типа вода – газ - соль. Модельный гидротермальный флюид и диаграммы с критическими явлениями в насыщенных и ненасыщенных растворах. Гетерофазность природных флюидов. Особенности транспорта и локальных равновесий гидротермальных флюидов как главные причины возникновения геохимических неоднородностей. Теории рудной зональности гидротермальных месторождений и общие закономерности эволюции состава гидротермальных растворов. Метасоматическая зональность и околорудные метасоматиты. (4 час)

3. Поровое пространство горных пород как среда гидротермального транспорта и минералообразования. Роль соосаждения и перекристаллизации в концентрировании и рассеянии рудных компонентов. Коллоидно-геохимические аспекты гидротермального процесса. Двойной электрический слой, электрохимические и энергетические особенности границы раздела фаз раствор - минерал. Электрокинетические явления и естественные электрические поля. Адсорбция и процессы обменной ионной адсорбции. Механизмы адсорбционно-осадительной и фазовой дифференциации компонентов поровых растворов. Вмещающая среда как источник металлов при рудообразовании. Роль пористости и проницаемости горных пород, методы их определения и учета при моделировании. (4 час)

Механизмы массопереноса в гидротермальных системах. Действующие силы тепломассопереноса и достигаемые стационарные состояния. Соотношения конвекции и диффузии в гидротермальных системах. Уравнения конвективной диффузии. Фильтрация и бародиффузия. Осмос и термодиффузия. Поровые растворы как мембранные системы. Осмос и концентрационная диффузия. Электрические поля при транспорте растворов. Фильтрационные эффекты и основные механизмы пространственной дифференциации вещества в гидротермальном процессе. Соотношения порового и трещинного транспорта и метод электрогидродинамических аналогий при моделировании. (4 час)

4. Особенности гетерогенных равновесий раствор - твердые фазы – газовая фаза и коэффициенты распределения рудных компонентов. Локальное равновесие на границе фаз и кинетика гетерогенных реакций между минералами и гидротермальными флюидами. Лимитирующая роль диффузии в процессах растворения и кристаллизации. Режим кислотности-щелочности в гидротермальном процессе и буферность вмещающей минеральной среды. Виды метасоматических процессов и их термодинамические параметры. Методы изучения метасоматических явлений и метасоматической зональности при диффузионном и инфильтрационном метасоматозе. Околожильные изменения и вертикальная зональность метасоматитов, их соотношения с рудообразованием. (4 час)

Жильные минералы гидротермалитов и их растворимость. Особенности растворимости рудных минералов. Произведения растворимости, температурная и барическая зависимости растворимости. Ионные равновесия и комплексообразование. Формы переноса F, Cl, P, S, C, Fe, Mg, Ca, Al, Si, Na, K, B, Pb, Zn, Cu, Sn, W, Mo, Au, U. Процессы ступенчатого и конкурирующего комплексообразования, геохимически важные комплексообразователи и роль полиядерных комплексов в переносе халькофильных и других рудных элементов. Газово-паровой перенос и стехиометрия молекулярных комплексов. Карбонатные и сульфидные равновесия. (4 час)

5. Причины различий в подвижности элементов. Соотношения между абсолютной подвижностью ионов, миграционной подвижностью элементов и дифференциальной подвижностью термодинамических компонентов. Модели механизмов концентрирования и рассеяния рудных элементов в гидротермальном процессе. Природа первичных ореолов гидротермальных месторождений. Последовательность и сопряженность околожильных изменений и внутрижильного минерало- рудообразования. Главные типы геохимических барьеров в гидротермальных процессах. (4 час)

Связи магматизма и рудообразования. Источники гидротермального тепла и источники вещества. Геохимические типы гранитоидов и роль металлогенической специализации. Геохимические признаки корового и мантийного источников вещества в гидротермалитах. Проблема ювенильной воды и восстановленных глубинных флюидов. (4 час)

6. Палеогидротермы и современная термальность, состав и свойства газожидких включений. Другие методы реконструкции состава гидротермальных систем и растворов. Теоретическая и полевая Eh- и pH-метрия гидротермальных вод. Геохимия и геохимические особенности минералообразования и рудообразования в современных термальных водах. Черные курильщики и гидротермальность при рифтогенезе. Поведение валентных форм серы и режим сероводорода. (4 час)

Грейзеновый процесс и пневматолитизация. Геохимия Be-Sn-W-Mo месторождений. Основные закономерности грейзенового процесса. Геохимия других рудных элементов (Fe, Mn) и элементов-индикаторов (F, TR, Ta, Nb, Li, Rb, Cs) при процессах альбитизации и грейзенизации. «Кислотно-щелочная волна» по Д.С. Коржинскому. Временная эволюция гидротермальных систем, стадийность и этапность процессов. Роль физико-механических свойств и деформаций в эволюции динамики гидротермальных растворов. (4 час)

7. Геохимия полиметаллических, медно-колчеданных, золоторудных и медно-молибденовых месторождений. Доминирующие формы переноса и поведение Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, Ag, Cd, Au, Fe в гидротермальном процессе. Процессы березитизации и кварцсерицитовых изменений. Окварцевание и кислотное выщелачивание при образовании вторичных кварцитов. (4 час)

Телетермальное месторождение Hg, Sb, As, Se, Te и телетермальное золото -серебряные месторождения. Полиядерное комплексообразование, общность форм переноса и форм отложения рудных компонентов. Окислительно-восстановительные процессы в приповерхностных гидротермальных месторождениях. Процессы смешения вод. Роль органического вещества. Формы переноса урана и урановые месторождения. Процессы гидротермальной аргиллизации и адсорбционное накопление микроэлементов. (4 час)

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.

Расчетные домашние задания:

1. Расчет концентрации комплексного соединения, определение преобладающей формы элемента в системах с конкурирующим комплексообразованием.
2. Расчет диаграммы рН-Eh для системы с разновалентными формами серы и ртути.
3. Анализ стационарного состояния при сочетании термодиффузии и диффузии.
4. Расчет предельных градиентов температуры в системах с кипением.

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы.

Перечень вопросов для проведения текущего контроля

1. Геохимические особенности гидротермальных образований. Термодинамическая и физико-химическая специфика гидротермальных процессов в сравнении с процессами магматизма, метаморфизма и метасоматоза.
2. Глубины развития гидротермальных систем, флюидное давление, давление на каркас горных пород, парциальные давления газов. Причины движения растворов и особенности их динамики. Режим гидротермального процесса как функция тепломассопереноса двух флюидных фаз.
3. Процессы перераспределения элементов в системе расплав – твердые фазы – флюид. Генетические связи между плавлением, кристаллизацией расплавов и флюидным режимом. Магматические системы с равновесной и фракционной кристаллизацией.
4. Эманационная дифференциация. Гетерофазность флюидов, изменения в режиме отделения летучих компонентов, их роль в постмагматической дифференциации. Межфазное распределение халькофильных и литофильных элементов.
5. Вода как растворитель, ее основные свойства и рыхлость структуры, теории ассоциации и водородные связи. Состояние воды в расплавах (магмах) и последовательность отделения газов при кристаллизации. Диэлектрическая проницаемость воды и водяного пара и их способность к ионизации растворенных веществ. Гидратация ионов. Вязкость воды и водяного пара, влияние растворенных веществ на плотность и вязкость растворов.
4. Растворимость газов в воде и гидротермальных растворах. Топология фазовых диаграмм в системах типа вода – газ - соль. Модельный гидротермальный флюид и диаграммы с критическими явлениями в насыщенных и ненасыщенных растворах. Гетерофазность природных флюидов.
5. Поровое пространство пород как основная среда транспорта гидротермальных флюидов. Термодинамические особенности систем с неравными давлениями на фазы и перманентность перекристаллизации. Роль соосаждения и перекристаллизации при адсорбционно-осадительной и хроматографической дифференциации компонентов поровых растворов.
6. Ведущие механизмы массопереноса в гидротермальном процессе. Действующие силы тепломассопереноса и достигаемые стационарные состояния. Конвекция и диффузия в гидротермальных системах. Уравнение конвективной диффузии Нернста - Планка. Фильтрация и бародиффузия. Термоосмос и термодиффузия. Осмос и концентрационная диффузия. Электрические поля при транспорте растворов. Фильтрационные эффекты как причины пространственного разделения вещества в гидротермальных системах.
7. Гетерогенные равновесия раствор - твердые фазы - газ и коэффициенты распределения микрокомпонентов. Локальное равновесие на границе фаз и кинетика гетерогенных реакций между минералами и гидротермальными растворами. Лимитирующая роль

диффузии в процессах растворения и кристаллизации. Режим кислотности-щелочности в гидротермальном процессе и буферность вмещающей минеральной среды.

8. Виды метасоматических процессов и их термодинамические параметры. Методы изучения метасоматических явлений и метасоматической зональности. Диффузионный и инфильтрационный метасоматоз. Зональность окolorудных изменений и вертикальная метасоматическая зональность, их соотношения с рудообразованием.

9. Жильные минералы гидротермалитов и их растворимость. Особенности растворения рудных минералов. Произведения растворимости, температурная и барическая зависимости растворимости. Ионные равновесия и комплексообразование.

10. Формы переноса F, Cl, P, S, C, Fe, Mg, Ca, Al, Si, Na, K, B, Pb, Zn, Cu, Sn, W, Mo, Au, U. Процессы ступенчатого и конкурирующего комплексообразования, геохимически важные комплексообразователи для переноса халькофильных и других рудных элементов.

11. Газово-паровой перенос и молекулярные комплексы. Сульфидные равновесия, режим и валентные формы серы в гидротермальных системах.

12. Причины различий в геохимической подвижности элементов. Соотношения между абсолютной подвижностью ионов, миграционной подвижностью компонентов и дифференциальной подвижностью термодинамических компонентов.

13. Генетические связи рудообразования с магматизмом. Источники гидротермального тепла и источники вещества. Геохимические типы гранитоидов и их металлогеническая специализация. Геохимические признаки корового и мантийного источников вещества в гидротермалитах. Проблема ювенильной воды и восстановленных глубинных флюидов.

14. Палеогидротермы, состав и свойства газово-жидких включений и современная термальность. Методы реконструкции свойств гидротермальных систем и растворов. Теоретическая и полевая Eh и pH-метрия гидротермальных вод. Геохимия и геохимические особенности минералообразования и рудообразования в современных термальных водах. Черные курильщики и гидротермальность при рифтогенезе.

15. Грейзеновый процесс и пневматолитизация. Геохимия Be-Sn-W-Mo месторождений. Основные закономерности грейзенового процесса. Геохимия других рудных элементов (Ta, Nb) и элементов-индикаторов (F, TR, Li, Rb, Cs) при процессах альбитизации и грейзенизации. «Кислотно-щелочная волна» по Д.С. Коржинскому.

16. Геохимия полиметаллических, медно-колчеданных, золоторудных и медно-молибденовых месторождений. Доминирующие формы переноса и поведение Pb, Zn, Cu, Bi, Mo, Ag, Cd, Au, Fe в гидротермальном процессе. Процессы березитизации и кварц-серпентинитовых изменений. Окварцевание и кислотное выщелачивание при образовании вторичных кварцитов.

17. Телетермальное месторождение Hg, Sb, As, Se, Te и телетермальное золото - серебряные месторождения. Полиядерное комплексообразование, нульвалентные формы переноса и карбонильные комплексы в газовой фазе. Окислительно-восстановительные процессы в приповерхностных гидротермальных месторождениях.

18. Процессы смешения вод. Роль органического вещества в гидротермальных системах. Формы переноса урана и урановые месторождения. Главные типы геохимических барьеров в гидротермальных процессах. Контроль pH и буферные взаимодействия. Процессы гидротермальной аргиллизации и адсорбционное накопление микроэлементов.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:

1. Последовательность, сопряженность и дополнительность околожильных изменений и жильного минералообразования в гидротермалитах. Стадии и этапы процесса.
2. Формы нахождения химических элементов в водных растворах. Состояние заряженного иона в растворе, гидратация ионов, комплексообразование.
3. Роль деформаций и пористости при массопереносе в гидротермальных системах.

4. Характерные времена развития и существования гидротермальных систем.
5. Вода как амфипротонное химическое соединение. Аномалии ее свойств и роль водородных связей. Структура воды и природа ее аномалий.
6. Состояние воды в тонкопористой среде. Поровые растворы и методы их анализа.
7. Модельный гидротермальный флюид (основной химический и фазовый состав).
8. Реакции комплексообразования, применение констант комплексообразования для расчета равновесий форм переноса элементов. Процессы гидратации и диссоциации как главные механизмы, управляющие растворимостью рудных элементов.
9. Геохимическое значение комплексообразования и растворимости рудных компонентов в гидротермальных системах. Растворимость и произведение растворимости. Их влияние на рудогенез в гидротермальном процессе.
10. Поровые растворы и электрохимическое равновесие Доннана; концентрационная поляризация при фильтрации.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: строения и состава гидротермальных растворов; законов, управляющих поведением микроэлементов в растворах	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: использовать физико-химические расчеты с целью определения миграционных свойств элементов	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности важного характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение использовать физико-химические расчеты.	Успешное умение использовать физико-химические расчеты применительно к гидротермальным водам, процессам рудогенеза
Владения: методами расчета и графического изображения состава гидротермальных фаз; типовыми признаками терм по их химическому составу	Навыки владения расчетными методами отсутствуют	Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков	В целом сформированы навыки использования расчетных методов реконструкции состава вод и гидротерм	Владение расчетными методами, использование их для решения генетических задач.

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

1. Гаррелс Р., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. М.: Мир, 1968, 368 с.
2. Экспериментальное и теоретическое моделирование процессов минералообразования. Сб. статей под ред. В.А. Жарикова, В.В. Федькина. М.: Наука, 1998, 554 с.
3. Жариков В.А. Основы физической геохимии. М., МГУ: Наука, 2005, 654 с.

4. Краускопф К.В., Бэрнем К.В., Хемли Д., Барнс Г.Л., Эллис А.Дж., Уайт Д.Э. и др. Геохимия гидротермальных рудных месторождений. Ред. Х. Барнс. М.: Мир, 1970, 544 с.
5. Бетехтин А.Г., Вольфсон Ф.И., Заварицкий А.Н., Коржинский Д.С., Левицкий О.Д., Николаев В.А. Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М.: АН СССР, 1955, 623 с.
6. Ньютон Р.К., Навротски А., Вуд Б.Дж., Бримхолл Дж.Х., Крерар Д.А. и др. Термодинамическое моделирование в геологии. *Минералы, флюиды и расплавы*. Под ред. И. Кармайкла, Х. Ойгстера и В.А. Жарикова. М.: Мир, 1992, 534 с.

- дополнительная литература:

1. Борисов М.В., Шваров Ю.В. Термодинамика геохимических процессов. М.: МГУ, 1992, 254 с.
2. Борисов М.В. Геохимические и термодинамические модели жильного гидротермального рудообразования. М.: Научный мир, 2000, 360 с.
3. Гричук Д.В. Термодинамические модели субмаринных гидротермальных систем. М.: Научный мир, 2000, 304 с.
4. Эверет Д. Введение в химическую термодинамику. М.: ИЛ, 1963, 300 с.
5. Пригожин И., Дефэй Д. Химическая термодинамика. Новосибирск: Наука, 1966, 510 с.
6. Хаазе Р. Термодинамика необратимых процессов. М.: Мир, 1967, 544 с.
7. Смит Ф.Г. Физическая геохимия. Под ред. В.И. Смирнова. М.: Недра, 1968, 476 с.
8. Бычков А.Ю. Геохимическая модель современного рудообразования в кальдере Узон (Камчатка). М.: ГЕОС, 2009, 124 с.

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения пакеты программ Statistica; Microsoft Office Excel, Microsoft Office PowerPoint (при необходимости)

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем
Не требуется

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

Д) Материально-технического обеспечение: - персональные компьютеры, электронные презентации по темам и электронные версии книг и сборников из списка литературы.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель (преподаватели) – Алехин Ю.В.

11. Автор (авторы) программы – Алехин Ю.В.