

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
«Геохимия магматизма»

Область науки: 1 Естественные науки

(шифр и наименование)

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

(шифр и наименование)

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

(шифр и наименование)

Форма обучения: Очная

Вид итогового контроля: зачет

(Зачет/Дифференцированный зачет/Экзамен)

Москва 2022

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью курса является углубленное ознакомление аспирантов с современной проблематикой, методами исследований и результатами в данной области науки.

Задачи дисциплины:

- выявление связей между современными процессами магматизма, тектонической и геодинамической обстановкой их формирования на основе изучения формаций магматических пород;
- установление индикаторной роли магматических формаций и условий их образования в расшифровке современных и древних геологических обстановок и эволюции литосферы Земли.
- обучение методам оценки P - T - f_{O_2} условий образования конкретных магматических серий (ассоциаций пород), используя результаты экспериментальной и теоретической петрологии;
- освоение современных физико-химических численных методов моделирования процессов кристаллизации магм.

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Геохимия магматизма» входит в образовательный компонент программы аспирантуры и является дисциплиной по выбору обучающихся для получения более глубоких знаний по специальности.

3. Результаты освоения программы дисциплины

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать: современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности, современное состояние науки в области геохимии и геохимических методов поиска полезных ископаемых.

Уметь: выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические методы исследования.

4. Структура и содержание дисциплины

Приведенная ниже таблица отражает распределение учебного времени, отводимого на освоение основных разделов курса. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы (72 часа).

Наименование дисциплины	Объем учебной работы (в часах)						Вид итогового контроля	
	Всего	Всего аудит.	Из аудиторных					Сам. Работа
			Лекц.	Лаб.	Прак.	КСР.		
Геохимия магматизма	72	28	28	-	-		44	зачет

Обучение по дисциплине заканчивается прохождением промежуточной аттестации по ней в объеме 1 зачетной единицы (36 часов).

Содержание разделов дисциплины:

Содержание раздела (темы)	Количество часов
<i>Лекции</i>	
<p>1. <u>Магмы и магматические серии.</u> Определение магмы, фазовый состав и отличие магмы от магматического расплава. Понятия ригидуса, “кристаллической каши”, суспензии. Соотношения составов реальных расплавов и расплавных включений в минералах. Понятие “генетической общности пород” и определение магматической серии. Значение базальтов как “примитивного” источника ассоциаций магматических пород; первичные, исходные (родоначальные) и производные магмы. Базальтовый тетраэдр и главные типы базальтовых магм. Генетические серии горных пород: толеитовые, известково-щелочные, субщелочные, щелочные (фельдшпатоидные).</p>	2
<p>2. <u>Мантийные резервуары и условия зарождения первичных магм.</u> Мантийные и коровые резервуары, преобладание магм производных от мантийного субстрата. Источники информации о строении глубинных геосфер. Состав, термодинамические параметры и структура мантии. Понятия примитивной (необедненной) и обедненной мантии. Сопоставление примитивной мантии с составом обыкновенных хондритов. Мантийный метасоматизм и метасоматизированная (аномальная) мантия. Признаки переработки мантийного вещества под воздействием глубинных флюидных потоков. Аномальная мантия как источник обогащенных щелочами пород. Соотношения первичной выплавки и рестита, понятия степени плавления и критической пористости. Равновесное, фракционное и динамическое плавление. Эволюция состава расплава и рестита при равновесном плавлении источника (поведение главных и примесных элементов).</p>	2

<p>3. <u>Концепция фракционирования как основа реконструкции магматических серий.</u> Основные механизмы дифференциации магм и роль кристаллизационных процессов. Фракционная кристаллизация магмы, физические механизмы разделения кристаллов и жидкости. Корреляция трендов эволюции составов пород и минералов с последствиями фракционирования простых силикатных систем (Ab-An, Di-Ab-An). Графические методы изучения систем “источник – дифференциат” (принцип вычитания компонентов). Линии фазового контроля. Расчеты фракционной кристаллизации “по методу наименьших квадратов”.</p> <p>Уравнение Релея–Макфи в дифференциальной и интегральной форме (без вывода). Понятие степени фракционирования системы (=расплава). Смысл и значение коэффициентов распределения кристалл-расплав. Совместимые и несовместимые элементы, поведение при фракционной кристаллизации, примеры. Идеальное и частичное фракционирование.</p>	2
<p>4. <u>Численные методы моделирования траекторий кристаллизации.</u> Фракционирование твердых растворов отдельных минералов (на примере системы Fa-Fo) и котектических ассоциации, влияние пропорций кристаллизации. Комбинированный коэффициент распределения. Существо численных методов моделирования траекторий фракционирования.</p> <p>Значение уравнений равновесия (геотермометров) минерал-расплав, методы расчета температур равновесия минерал-расплав (на примере оливинных геотермометров). Использование констант равновесия реакций кристаллизации главных породообразующих минералов для построения ЭВМ-модели КОМАГМАТ. Основные режимы моделирования кристаллизационных процессов при помощи программы КОМАГМАТ, описание входных данных и структуры “выходных” файлов.</p>	2
<p>5. <u>Океанический магматизм: вулканические ассоциации.</u> Геологические структуры дна океанов. Толеитовые базальты срединно-океанических хребтов (БСОХ: N-MORB, E-MORB, типы TOP по Дмитриеву) и океанических плит (ареальные платобазальты). Типы пород, минеральный состав, химизм, флюидный состав, вторичные преобразования. Фазовая интерпретация толеитов СОХ при помощи диаграммы Гроува (OLIV-CPX-QTZ).</p> <p>Разнообразие внутриплитного магматизма, пять главных серий океанических о-вов. Толеитовые, субщелочные и щелочные серии Гавайских о-вов и Исландии. Тектонические структуры и геодинамические условия формирования внутриплитных структур. Концепция “горячих” точек, плюмы и диапиры.</p> <p>Гавайские о-ва и Исландия: геологическая история, строение вулканов, вулканические разрезы, магматизм. Вещественный состав вулканитов, петрография и химизм. Специфика кислых вулканитов Исландии, возможные механизмы их образования, относительные пропорции дифференциатов. Сходства и различия БСОХ и ТОО. Мантийная природа океанического магматизма.</p>	2
<p>6. <u>Океанический магматизм: интрузивные ассоциации.</u> Схема строения океанической коры. Процессы, формирующие облик океанической литосферы. Малоглубинные (эффузивно-интрузивные) и глубинные (плутонические) формации: непрерывные базитовые и контрастные базит-гипербазитовые. Вещественный состав плутонических пород. Петрохимические особенности и геохимические характеристики, аналогии с различными типами БСОХ.</p> <p>Особенности состава океанических перидотитов: шпинелевые</p>	2

<p>гарцбургиты и дуниты, различия степени плавления источника. Габбро и связанные кислые породы, проблема происхождения плагиогранитов. Источник воды в амфиболах. Относительная роль эндогенных и экзогенных факторов в формировании вулканических ассоциаций и плутонических комплексов океанов.</p>	
<p>7. <u>Происхождение океанических магм.</u></p> <p>7.1. БСОХ: критерии поиска родоначальных и первичных магм, значение состава оливина. Альтернатива лерцолитового и гарцбургитового источника, результаты опытов по плавлению лерцолитов. Проецирование составов природных стекол на экспериментальные котектики и оценки давления в области магмогенерации. Р-Т диаграмма магнезиального толеита БСОХ, порядки кристаллизации для разных давлений. Особенности полибарического фракционирования и интерпретация природных петрохимических трендов - роль диаграммы CaO-MgO. Барометрия закалочных стекол Срединно-Атлантического хребта при помощи программы КОМАГМАТ.</p> <p>7.2. Гавайи: поиск родоначальных и первичных магм для толеитовых серий. Данные экспериментальных исследований. Противоречия между “геохимической меткой граната” и гарцбургитовой моделью рестита: двухстадийная гипотеза полибарической гибридизации первичных магм. Возможное происхождение щелочных серий.</p> <p>7.3. Исландия: первичные магмы рифтогенных и щелочных серий (по данным изучения расплавных включений). Результаты моделирования толеитовой серии вулкана Тингмули по программе КОМАГМАТ. Проблема бимодальности базальт-андезит-риолитовых серий.</p>	1
<p>8. <u>Магматические формации континентальных платформ.</u></p> <p>Строение молодых и древних континентальных платформ, понятие магматической активизации и главные формации этого периода. Эффузивно-интрузивная формация толеитовых и субщелочных базитов (траптовая). Главнейшие траптовые провинции: Сибирская платформа, Карру, Декан, Британо-Арктическая провинция. Геотектоническая обстановка траптового магматизма, ее связь с деструкцией континентов с образованием обширных изверженных провинций (ОИП или LIP). Сравнительная характеристика платформенных (траптовых) и океанических базитовых формаций.</p> <p>Происхождение эффузивных траппов. Значение субщелочных пикритов в траппах Декана и Карру, составы оливина. Выделение низко-Ti и высоко-Ti серий. Распределение и особенности состава эффузивных траппов Сибирской платформы. Современные модели их генезиса. Базальт-риолитовые (габбро-гранитные) ассоциации. Происхождение кислых пород контрастных серий континентальных платформ.</p>	2
<p>9. <u>Главнейшие расслоенные базитовые и базит-гипербазитовые интрузивы платформ.</u></p> <p>Классификация долеритов - главные типы структур, их интерпретация. Типы строения долеритовых силлов: Норильский, Аламджахский, Ангаро-Могдинский (примеры – Талнах и Вавукан). Признаки фракционирования магмы в строении долеритовых силлов. Механизмы внутрикамерной дифференциации, гипотезы “направленной кристаллизации” и “оседания кристаллов”. Конвекционно-кумуляционная модель формирования траптовых интрузивов (программа ИНТРУЗИВ). Примеры моделирования дифференцированных силлов. Рудоносность расслоенных интрузивов в связи с их петрогенезисом.</p> <p>Крупные расслоенные интрузивы: особенности разрезов и</p>	2

<p>вещественный состав пород. Отличия от долеритовых силлов. Скергаардский интрузив: геологическое положение, основные подразделения, соотношения Верхней краевой группы и Расслоенной серии. Принцип расчета составов остаточных магм, проецирование на диаграмму AFM. Боуэновский и феннеровский тренды дифференциации (диаграмма FeO-SiO₂). Проблемы эволюции скергаардской магмы.</p>	
<p>10. <u>Магматические формации рифтовых зон континентов.</u> Зоны рифтогенеза и рифты: особенности геологического развития и глубинного строения, связи с щелочным магматизмом. Щелочные базальтоидные формации, их строение и состав. Кимберлиты, лампроиты и карбонатиты. Дифференцированные интрузивы центрального типа щелочно-ультраосновного состава, ассоциация с карбонатитами. Формации нефелиновых сиенитов. Специфика эпиконтинентальных (эпиплатформенных) рифтов, две модели их образования. Главные типы магматических серий. Африкано-Аравийский пояс и Байкальская рифтовая зона как примеры эпиплатформенных рифтов. Эпиорогенные рифтовые зоны: отличия от эпиконтинентальных рифтов, тектоническая позиция, геологическое строение, стадии развития. Главные типы магматических формаций. Примеры эпиорогенных рифтов (Камчатка, Анды, Запад США). Отличия океанического и континентального рифтогенеза.</p>	2
<p>11. <u>Происхождение щелочных пород.</u> Гипотезы образования щелочных магм: “карбонатная”, фракционной кристаллизации, внутрикорового плавления. Природа глубинного источника щелочных магм, мантийный метасоматизм. Признаки воздействия флюидов их возможный состав. Значение включений в щелочных породах как индикаторов состава мантии и режима плавления. О роли углекислоты, генезис карбонатитов. Вертикальная зональность аномальной мантии. Фракционная кристаллизация щелочных магм: геологические данные и результаты экспериментов. Частичное плавление амфиболитизированной коры: влияние воды и CO₂ - образование фонолитов. Значение ксенолитов как показателей строения коры и режима кристаллизации.</p>	1
<p>12. <u>Общая характеристика окраин континентов.</u> Пассивные и активные окраины. Стадии развития и особенности строения пассивных окраин, примеры. Разновидности активных окраин (три группы), этапы развития и глубинное строение. Главные структуры активных окраин. Энсиалические и энсиматические дуги. Внутренние и внешние дуги, относительное время их образования. Вулканические фронты. Главные типы магматических серий, продольная и поперечная зональность. Ксенолиты и гомеогенные включения, значение алливалитов и эвкритов. Принципы петрохимической типизации и геохимические особенности островодужных вулканитов.</p>	1
<p>13. <u>Магматические формации островных дуг Западно-Тихоокеанского типа.</u> Геология и глубинное строение островных дуг. Главные формационные типы и петрогенетические серии, их состав и строение. Эволюция магматизма во времени и латеральная зональность. О роли островодужного магматизма в формировании континентальной коры. Геологические и генетические соотношения высокоглиноземистых (ВГБ) и высокомагнезиальных базальтов. Гипотеза “плавления мантийного клина”. Признаки присутствия материала океанической коры в источнике. Роль воды в образовании ВГБ магм. Адакиты как продукт плавления</p>	1

<p>океанической плиты и возможный аналог архейских тоналит-трондьемит-гранодиоритовых (TTG) серий!?</p> <p>Полибарическое фракционирование как механизм образования высокоглиноземистых базальтов (на примере Ключевского вулкана). Магмогенерирующая система вулканов Ключевской и Безымянный. Условия формирования общей базальт-андезит-дацит-риолитовой (известково-щелочной) серии. Роль кристаллизации магнетита и роговой обманки.</p>	
<p>14. <u>Магматические формации активных окраин Восточно-Тихоокеанского типа.</u></p> <p>Окраинные вулcano-плутонические пояса, их общая характеристика и глубинное строение. Главные формационные типы и петрогенетические серии. Состав магматических пород. Роль магматизма континентальных активных окраин в формировании земной коры. Сравнительная характеристика магматизма островных дуг и окраинно-континентальных вулканических поясов.</p> <p>Геологическое строение и история развития Анд. Три главных сегмента. Вещественный состав главных серий. Геохимия, летучие, специфика изотопного состава. Отличия андского магматизма от островных дуг.</p> <p>Особенности классификации андезитов. Мантийные и внутрикоровые гипотезы их образования. Относительная роль ассимиляции, смешения и фракционной кристаллизации (AFC-модели). Возможность непосредственного выплавления андезитовых расплавов в области мантийного клина. Эксперименты по плавлению коровых материалов. Вывод о полигенетичности механизмов формирования андезитовых магм.</p>	1
<p>15. <u>Магматические формации окраинных морей.</u></p> <p>Общая характеристика и глубинное строение. Типы окраинных морей, отражающие разные стадии их формирования. Формационные типы и петрогенетические серии. Эволюция магматизма во времени и его вариации, связанные с неоднородностью фундамента окраинных морей. Происхождение и эволюция магм. Черты сходства и различия в магматизме окраинных морей и островных дуг. Роль магматизма в преобразовании земной коры в окраинных морях.</p> <p><u>Магматические формации глубоководных желобов.</u></p> <p>Геологическое строение желобов, типы разрезов. Структура офиолитовых комплексов, их возраст и состав. Интрузивные ассоциации. Магматические породы центральной части желобов. Проявление молодого вулканизма желобов и преддужья и его роль в геологической истории активных окраин.</p> <p>Петрохимическая специфика и минералогические особенности бонинитов. Высоко-Са и низко-Са бониниты (примеры). Значение клиноэнстатита и роль воды. Результаты экспериментов с простыми и природными системами. Оценка давления и содержания воды. Вывод о недосыщенности исходных расплавов по содержанию H₂O.</p>	2
<p>16. <u>Магматические формации древних подвижных поясов геосинклинального типа.</u></p> <p>Вулканогенные формации, их эволюция во времени на разных стадиях развития. Офиолитовые ассоциации, интрузивные базитовые и гранитоидные формации. Сравнение формационных рядов древних фанерозойских подвижных поясов с формационными рядами магматизма современных обстановок.</p> <p><u>Эволюция магматизма в истории Земли.</u></p> <p>Доархейская история по аналогии с условиями формирования лунной коры. Распределение главных типов магматических формаций Земли во</p>	1

<p>времени (начиная с архея). Магматизм как индикатор глубинной тектоники и геодинамических процессов, формирования континентальной коры и ее разрушения. Наличие “индикаторных” магматических формаций, свойственных определенным этапам развития Земли - свидетельство необратимости эволюции.</p>	
<p>17. <u>Особенности внеземного магматизма.</u> Источники информации о вещественном составе продуктов внеземного магматизма. Общая схема формирования вещества метеоритов и планетных тел. Значение базальтоидных ахондритов, их состав. SNC – метеориты как возможный продукт марсианского магматизма, оценки состава исходных магм. Лунные метеориты и главные особенности лунных пород. Высоко- и низко-Ti лунные морские базальты. Глобальные отличия земных и внеземных котектик. Возможная роль раннего отделения железа и образования ядра.</p>	1
<p>18. <u>Редокс-равновесия в магмах и условия кристаллизации магнетита.</u> Окисленность пород и магматических расплавов. Значение температуры. Редокс-равновесия в жидкости. Уравнение Сэка. Влияние воды и давления. Кислородные буферы. Окислительные и восстановительные условия. Ряды окисленности магм по Кармайклу. Открытые и закрытые по кислороду системы. Опыты Осборна, воспроизведение “боуэновского” и “феннеровского” трендов. Данные экспериментов по изучению равновесия Mt-расплав. Уравнение магнетитового ликвидуса. Моделирование равновесия магнетит – расплав. Расчеты кристаллизации магнетита и сравнение с экспериментальными данными Хилла и Редера (1974). Примеры численного моделирования образования базальт-андезит-дацитовых серий.</p>	1

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

Самостоятельная работа заключается в изучении рекомендованной литературы и 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 во время лекционных занятий (в начале или в конце занятия преподаватель задает вопросы аспирантам).

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Основная литература:

1. *Фролова Т.И., Бурикова И.А.* Магматические формации современных геотектонических обстановок. М.: Изд-во Московского университета. 1997. 319 с.
2. *Арискин А.А., Бармина Г.С.* Моделирование фазовых равновесий при кристаллизации базальтовых магм. М.: Наука. 2000. 363 с.
3. *Магматические горные породы. Эволюция магматизма в истории Земли* (под ред. В.И.Коваленко). М.: Наука. 1987. 508 с.

6.2. Дополнительная литература:

1. *Мюллер Р., Саксена С.* Химическая петрология. М.: Мир. 1980. 517 с.
2. *Кокс К.Г., Белл Дж.Д., Панкхерст Р.Дж.* Интерпретация изверженных горных пород. М.: Недра. 1982. 438 с.
3. *Хьюджес Ч.* Петрология изверженных пород. М.: Недра. 1988. 320 с.

7. Образовательные технологии

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационно-телекоммуникационные технологии: персональный компьютер (или ноутбук) с необходимым программным обеспечением для работы устройства, а также для демонстрации презентаций MS PowerPoint.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекционная аудитория, оборудованная проекционным оборудованием и доступом в сеть «Интернет».

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.

9.1.2. Промежуточная аттестация – зачет, который проходит в устной форме по вопросам. В случае успешного прохождения испытания по дисциплине, аспиранту ставится оценка "зачтено", при неуспешном - "не зачтено".

9.2. Оценочные средства (устные вопросы).

9.2. 1. Перечень примерных контрольных вопросов для текущего контроля знаний

1. Магматические серии.

Понятия “генетической общности пород” и дифференциации магмы. Механизмы дифференциации магм, значение кристаллизационного фракционирования. Определение магматической серии. Конкретные серии и их типы. Основные дискриминационные диаграммы. Толеитовые, известково-щелочные, субщелочные и щелочные (фельдшпатоидные) серии.

2. Генетические типы базальтов и основы их фазовой интерпретации.

Значение базальтовых магм как источника ассоциаций магматических пород. Первичные, примитивные, исходные (родительские) и производные магмы. Базальтовый тетраэдр и главные типы базальтовых магм. Физико-химическое значение концепции “насыщения кремнеземом”. Методы проецирования базальтовых составов на фазовые диаграммы. Диаграмма Гроува (OLIV-DIOP-SiO₂).

3. Поведение микроэлементов в магматических процессах.

Совместимые (когерентные) и несовместимые (некогерентные) элементы. Коэффициенты распределения минерал-расплав. Главные группы индикаторных микроэлементов (крупно-ионные литофильные – LIL, высокозарядные – HFS, редкоземельные). Важнейшие индикаторные диаграммы для микроэлементов. Необходимость нормировки на состав источника. Значение спайдерграмм.

4. Изотопно-геохимические резервуары.

Общие сведения о стабильных и радиогенных изотопах. Главные стадии формирования Земли, планетарная дифференциация, концепция изотопно-геохимических резервуаров. Мантийные и коровые резервуары. Природа примитивной и формирование обедненной (деплетированной) мантии. Мантийный метасоматизм и метасоматизированная (аномальная) мантия. Изотопные соотношения стронция и неодима, главная мантийная последовательность.

5. Магмы как гетерогенные системы.

Определение магмы и магматического расплава. Отличия ригидуса, “каши” и суспензии. Понятие пограничного слоя: геологические примеры и строение (вариации температуры, состава минералов и расплава, степени закристаллизованности). Породообразующая роль магм и значение микровключений расплава в минералах.

6. Концепция фракционной кристаллизации.

Понятие фракционирования магмы, физические механизмы разделения кристаллов и жидкости. Признаки фракционирования составов пород и минералов (на примере систем *Ab-An* и *Di-Ab-An*). Графические методы изучения систем “источник – дифференциат” (принцип вычитания компонентов). Линии фазового контроля. Расчеты фракционной кристаллизации “по методу наименьших квадратов”.

Уравнение Релея–Макфи в дифференциальной и интегральной форме (*без вывода*). Понятие степени фракционирования системы (расплава). Идеальное и частичное фракционирование. Поведение совместимых и несовместимых элементов при идеальной фракционной кристаллизации.

7. Первичные магмы и процессы мантийного плавления.

Генетические соотношения первичных и родительских магм. Возможные источники первичных магм: значение состава оливина и роль мантийных перидотитов. Факторы, влияющие на химический состав первичных магм. Минеральный состав мантийных пород: лерцолиты и гарцбургиты. P-T диаграмма смены глиноземистых фаз в лерцолитах. Понятие продуктивности плавления (высоко- и низкопродуктивные лерцолиты). Солидус и ликвидус лерцолитов в зависимости от глубины, значение континентальной геотермы. Изобарическое и адиабатическое плавление.

Равновесное и фракционное плавление (эволюция состава расплава и рести́та на примере системы Fo-Di-SiO₂). Поведение несовместимых микроэлементов и P.З.Э. при равновесном плавлении мантийных перидотитов. Влияние степени плавления на состав первичных расплавов. Влияние давления на смещение котектических линий и нонвариантных точек. Типы базальтовых магм как функция глубины и степени плавления необедненного лерцолита.

8. Основы геологии океанов и типы океанического магматизма.

Строение океанической коры. Срединные хребты и океанические плиты. Основные положения концепции океанического спрединга. Значение магнитных аномалий. Высоко- и низко скоростные спрединговые зоны. Трансформные разломы и главные структуры океанических плит. Роль мантии в эволюции океанической литосферы. Значение мантийной конвекции, интерпретация данных по тепловому потоку в океанах и на

континентах. Главные типы океанического магматизма – внутриплитный и спрединговый. Понятие толеитов. Минералогические и химические характеристики толеитового магматизма океанов. Фазовая интерпретация толеитов COX при помощи диаграммы Гроува.

9. Толеиты срединно-океанических хребтов (MORB).

Минеральный состав, структура, характер извержений базальтов COX. Летучие компоненты. Геохимические разновидности толеитов COX: N-MORB, E-MORB, T-MORB. Латеральные вариации. Изотопные характеристики N-MORB и E-MORB: относительный характер их обедненности и обогащенности. Главные типы толеитов океанических хребтов по Л.В.Дмитриеву. TOP-1 и TOP-2, распространенность в быстрых и медленных спрединговых центрах. Петрологические схемы генетических соотношений N-MORB и E-MORB: области зарождения и смещения толеитовых магм.

Вещественный состав субвулканических и плутонических пород. Аналогии с различными типами MORB. Габбро и связанные кислые породы, проблема происхождения плагиогранитов. Морское (неювенильное) происхождение воды амфиболов. Происхождение плагиогранитов. Особенности состава океанических перидотитов: шпинелевые гарцбургиты и дуниты. Значение степени плавления. Относительная роль эндогенных и экзогенных факторов.

10. Условия образования и эволюции толеитовых магм срединных хребтов (MORB).

Поиск составов первичных и родительских магм. Роль примитивных базальтов и стекол, факторы их разнообразия. Значение прямых и обратных экспериментов. P-T диаграмма магнезиальных толеитов. Влияние давления на стабильность клинопироксена. Методы проецирования составов MORB на барометрические диаграммы. Основные результаты экспериментов по плавлению лерцолитов. Признаки полибарической кристаллизации толеитовых магм CAH. Значение диаграммы CaO-MgO. Принцип барометрии закалочных стекол MORB при помощи модели КОМАГМАТ. Оценки давления, возможные геодинамические реконструкции.

11. Внутриплитный магматизм: Гавайи.

Главные положения концепции горячих “точек”. Геофизические свидетельства существования мантийных плюмов. Пять главных серий океанических островов. Вещественный состав, петрография, содержания главных компонентов. Изотопно-геохимические особенности. Сравнение OIB и MORB.

Строение и возраст вулканов Гавайских островов. Стадии эволюции гавайского вулканизма. Толеитовые, субщелочные и щелочные серии Гавайских островов. Схема строения гавайского плюма. Происхождение источника и эволюция гавайских магм. Поиск родительских и первичных магм для толеитовых серий. Роль экспериментальных исследований. Противоречия между “геохимической меткой граната” и гарцбургитовой моделью рестита. Гипотеза полибарической гибридации первичных магм.

12. Внутриплитный магматизм: Исландия.

Исландия. Геологическая история, строение вулканов, вулканические разрезы. Эволюция магматизма, относительные пропорции базальтов, андезитов и риолитов. Петрография и особенности химизма исландских вулканитов. Отличия между толеитами Исландии и Гавайских о-вов. Химические сходства и различия с MORB.

Первичные магмы рифтогенных и щелочных серий Исландии. Моделирование образования серии лав вулкана Тингмули. Специфика кислых лав, возможные механизмы их образования. Проблема бимодальности базальт-риолитовых серий.

13. Крупнейшие платобазальтовые формации Земли (LIPS): океанические плато и континентальные траппы.

Главные положения концепции LIPS. Распределение платобазальтовых провинций в океане. Особенности магматизма океанических плато. Строение разрезов аккреционных террейнов в зонах субдукции. Петрохимические и геохимические особенности океанических платобазальтов. Происхождение океанических плато, значение мантийных плюмов. Понятие магматической активизации континентальных платформ и главные формации этого периода. Трапповые провинции континентов: платобазальты и силлы долеритов. Возраст, распределение, вещественный состав, примеры (Сибирская платформа, Карру, Декан, Британо-Арктическая провинция). Геотектоническая обстановка и продолжительность траппового магматизма, связь с деструкцией континентов. Признаки высокой продуктивности мантийного плавления. Петрохимические и геохимические особенности континентальных траппов. Эволюция траппового магматизма плато Колумбия в США.

14. Происхождение эффузивных и интрузивных траппов.

Обнаружение субщелочных пикритов в траппах Декана и Карру, значение примитивных составов оливина. Выделение низко-Ti и высоко-Ti серий, связь с толеитами. Распределение и особенности состава эффузивных траппов Сибирской платформы. Современные модели их генезиса, возможный вклад “базальтового” источника.

Классификация долеритов. Разновидности структур и их интерпретация. Типы строения долеритовых силлов: Норильский, Аламджахский, Ангаро-Могдинский. (примеры – Талнах и Вавукан). Закономерности строения дифференцированных силлов Сибирской платформы. Главные механизмы внутрикамерной дифференциации трапповых магм: гипотезы “направленной кристаллизации” и “оседания кристаллов”. Представления о седиментационной конвекции. Конвекционно-кумуляционная модель формирования трапповых интрузивов и примеры моделирования внутреннего строения силлов (Вавуканский интрузив). Влияние соотношений кумулус-интеркумуляус на состав долеритов.

15. Магматические формации рифтовых зон континентов.

Специфика эпиконтинентальных (эпиформенных) рифтов, две модели их образования. Главные типы магматических серий. Африкано-Аравийский пояс. Эпиорогенные рифтовые зоны: отличия от эпиконтинентальных рифтов, тектоническая позиция, геологическое строение, стадии развития. Главные типы магматических формаций. Примеры эпиорогенных рифтов (Запад США, Камчатка). Отличия магматизма океанических и континентальных рифтовых зон.

16. Происхождение щелочных пород.

Гипотезы образования щелочных магм: “карбонатная”, фракционной кристаллизации, внутрикорового плавления. Природа глубинного источника щелочных магм, мантийный метасоматизм. Признаки воздействия флюидов их возможный состав. Значение включений в щелочных породах как индикаторов состава мантии и режима плавления. О роли углекислоты, генезис карбонатитов. Вертикальная зональность аномальной мантии. Фракционная кристаллизация щелочных магм: геологические данные и результаты экспериментов. Частичное плавление амфиболитизированной коры: влияние воды и CO₂ - образование фонолитов.

17. Магматизм активных окраин.

Пассивные и активные окраины. Стадии развития и особенности строения пассивных окраин, примеры. Разновидности активных окраин (три группы), этапы развития и глубинное строение. Главные структуры активных окраин. Энсиалические и энсиматические дуги. Внутренние и внешние дуги, относительное время их образования.

Вулканические фронты. Главные типы магматических серий, продольная и поперечная зональность. Ксенолиты и гомеогенные включения, значение алливалитов и эвкритов. Принципы петрохимической типизации и геохимические особенности островодужных вулканитов.

18. Магматические формации островных дуг Западно-Тихоокеанского типа.

Геология и глубинное строение островных дуг. Главные формационные типы и петрогенетические серии, их химический и минеральный состав. Эволюция магматизма во времени и латеральная зональность. Роль островодужного магматизма в формировании континентальной коры. Геологические и генетические соотношения высокоглиноземистых (ВГБ) и высокомагнезиальных базальтов. Гипотеза “плавления мантийного клина”. Признаки присутствия материала океанической коры в источнике. Роль воды в образовании ВГБ магм.

Полибарическое фракционирование как механизм образования высоко-глиноземистых базальтов (на примере Ключевского вулкана). Магмогенерирующая система вулканов Ключевской и Безымянный. Условия формирования общей базальт-андезит-дацит-риолитовой (известково-щелочной) серии. Роль кристаллизации магнетита и роговой обманки.

19. Магматические формации активных окраин Восточно-Тихоокеанского типа.

Окраинные вулcano-плутонические пояса, их общая характеристика и глубинное строение. Главные формационные типы и петрогенетические серии. Состав магматических пород. Роль магматизма континентальных активных окраин в формировании земной коры. Сравнительная характеристика магматизма островных дуг и окраинно-континентальных вулканических поясов. Геологическое строение и история развития Анд. Три главных сегмента. Вещественный состав главных серий. Геохимия, летучие, специфика изотопного состава. Отличия андского магматизма от островных дуг.

20. Происхождение андезитов.

Классификация андезитов. Мантийные и внутрикоровые гипотезы их образования. Относительная роль ассимиляции, смешения и фракционной кристаллизации (АFC-модели). Возможность непосредственного выплавления андезитовых расплавов в области мантийного клина. Эксперименты по плавлению коровых материалов. Полигенетическая природа андезитовых магм.

21. Петрохимическая специфика и минералогические особенности бонинитов. Высоко-Са и низко-Са бониниты (примеры). Значение клиноэнстатита и роль воды. Результаты экспериментов с простыми и природными системами. Оценка давления и содержания воды. Вывод о недосыщенности исходных расплавов по содержанию H_2O . Адакиты как продукт плавления океанической плиты и возможный аналог архейских тоналит-трондьемит-гранодиоритовых (TTG) серий.

9.2.2. Список вопросов для зачёта по дисциплине

1. Дифференциация магм и выделение магматических серий. Основные дискриминационные диаграммы. Примеры.
2. Геологическое строение и эволюция магматизма Андской окраины. Отличия от магматизма островных дуг.
3. Генетические типы базальтов и принципы их фазовой интерпретации.
4. Глубинное строение островных дуг. Главные петрогенетические серии, их химический и минеральный состав.
5. Поведение микроэлементов в магматических процессах. Важнейшие индикаторные диаграммы.

6. Принципы типизации и изотопно-геохимические особенности островодужных вулканитов.
7. Стабильные изотопы в геохимии магматизма. Особенности изотопного состава кислорода в магматических породах.
8. Эпиорогенные рифтовые зоны: стадии развития и главные типы магматических формаций (Запад США, Камчатка).
9. Важнейшие радиогенные изотопы. Sr-Nd систематика, главная мантийная последовательность.
10. Эпиконтинентальные рифты: модели образования. Главные типы магматических серий (Африкано-Аравийский пояс).
11. Концепция изотопно-геохимических резервуаров. Природа примитивной и обедненной мантии.
12. Классификация долеритов и типы строения долеритовых силлов. Признаки кристаллизационной дифференциации.
13. Определение магмы и магматического расплава. Критические характеристики. Понятие пограничного слоя.
14. Происхождение эффузивных серий трапповой формации. “Низко-Ti” и “высоко-Ti” магмы, значение состава оливина.
15. Фракционирование магм. Простейшие методы построения и анализа траекторий фракционной кристаллизации.
16. Трапповые провинции континентов: возраст, распределение, вещественный состав.
17. Уравнения Релея–Макфи. Поведение микроэлементов при идеальной фракционной кристаллизации.
18. Крупнейшие платобазальтовые формации Земли (LIPS). Особенности магматизма океанических плато.
19. Численные методы моделирования кристаллизации магм. Программа КОМАГМАТ.
20. Состав верхней и нижней континентальной коры, понятие комплементарности. S и I типы гранитов.
21. Принципы поиска первичных магм. Значение состава OI и роль мантийных перидотитов. Различные режимы плавления.
22. Исландия: эволюция магматизма и особенности химизма исландских вулканитов. Отличия между толеитами Исландии и Гавайских о-вов.
23. Равновесное и фракционное плавление мантийных перидотитов. Поведение микроэлементов.
24. Стадии эволюции гавайского вулканизма. Главные серии Гавайских островов, их происхождение.
25. Уравнение Релея в применении к магматическим камерам. Гипотезы внутрикамерной дифференциации магм.
26. Главные положения концепции горячих “точек”. Пять серий океанических островов. Сравнение OIB и MORB.
27. Гипотезы образования щелочных магм. Значение аномальной мантии.
28. Вещественный состав субвулканических и плутонических пород океанов. Габбро и связанные кислые породы.
29. Генетические соотношения высоко-Al и высоко-Mg базальтов островных дуг. Концепция плавления “мантийного клина”.
30. Признаки полибарической кристаллизации толеитовых магм срединных хребтов. Значение диаграммы CaO-MgO.
31. Полибарическое фракционирование мантийных магм как механизм образования высоко-Al базальтов островных дуг.
32. Условия образования и эволюции толеитовых магм срединных хребтов (MORB).
33. Происхождение андезитовых магм: гипотезы мантийного и корового образования.

34. Особенности состава толеитов типов TOP-1 и TOP-2. Схемы генетических соотношений базальтов N-MORB и E-MORB.
35. Особенности состава и происхождение бонинитовых магм. Значение экспериментальных исследований.
36. Минеральный состав, петрохимия и структура толеитов срединных хребтов. Изотопно-геохимические характеристики N-MORB и E-MORB.
37. Природа адакитового магматизма. Аналогии с составами архейских ТТГ.
38. Геология океанов и главные типы океанического магматизма. Петрохимическая и фазовая характеристика толеитов.

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральными государственными требованиями:

- приказ Минобрнауки РФ № 951 от 20 октября 2021г. «Об утверждении федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов)» (зарегистрирован 23.11.2021 № 65943).

Автор (ы): доктор геолого-минералогических наук Арискин Алексей
Алексеевич
доктор геолого-минералогических наук Силантьев Сергей
Александрович
кандидат геолого-минералогических наук Миронов Никита
Леонардович

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ листа изменений или наименования 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
--				