

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

УТВЕРЖДАЮ
и.о. декана Геологического факультета
чл.-корр. РАН _____/Н.Н.Ерёмин/
«__» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Флюидные и расплавные включения

Автор-составитель: Плечов П.Ю.

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Геохимия

Форма обучения:

Очная

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

Москва

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, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки).

Год (годы) приема на обучение: 2022

© 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

Целью курса "Флюидные и расплавные включения" является теоретическое и практическое освоение основных методов изучения расплавных и флюидных включений в минералах.

Задачи - изучение принципов классификации и описания флюидных и расплавных включений в минералах, знакомство с основными методами препаратоподготовки, эксперимента, анализа включений и интерпретации результатов. Знакомство с возможностями и ограничениями применения методов для решения геологических, минералогических и петрологических задач на примерах из современной научной литературы.

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Курс «Методы изучения расплавных и флюидных включений» проводится в осеннем семестре для студентов 4-го курса. Это курс включает в себя 14 лекций и 7 практических занятий. Основная цель курса – знакомство слушателей с современными методами изучения расплавных и флюидных включений, областью применения этих методов. Особое внимание уделяется ограничениям методик и критериям применения тех или иных методов исследования в зависимости от поставленной петрологической задачи. Цель практических занятий – обучение студентов навыкам выявления расплавных включений и их классификации. Проверочные работы и задания, предусмотренные программой, направлены на закрепление пройденного материала.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – вариативная часть, профессиональный цикл, профессиональные дисциплины по выбору, курс – IV, семестр – 7.

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин «Общая геология», «Химия общая», «Неорганическая химия», «Минералогия» «Высшая математика», «Физика», «Петрология», «Физическая геохимия», «Локальные методы исследования вещества», «Основы математического моделирования в петрологии», «Экспериментальная и техническая петрология», «Эффузивные породы».

Дисциплина необходима в качестве предшествующей для дисциплин «Динамическая вулканология», дисциплин магистерской программы «Современные главы петрологии», а также для научно-исследовательской работы и выполнения выпускных квалификационных работ.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

| Компетенции выпускников (коды) | Индикаторы (показатели) достижения компетенций | Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), сопряженные с компетенциями |
|---|--|--|
| ОПК-2.Б Способен применять теоретические основы фундаментальных геологических дисциплин при решении задач профессиональной деятельности (формируется частично). | Б.ОПК-2. И-1. Использует теоретические знания о закономерностях и особенностях геологических процессов для решения профессиональных задач. | Знать: принципы классификации и методы описания флюидных и расплавных включений в минералах Уметь: ставить задачу исследования включений; Владеть: методами описания флюидных и расплавных включений в минералах, |

| | | |
|---|--|--|
| ОПК-3.Б Способен решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки (формируется частично) | Б.ОПК-3. И-1. Использует типовые подходы и методы при решении задач профессиональной деятельности. | <i>Знать</i> возможности и ограничения применения методов для решения геологических, минералогических и петрологических задач, основные методы эксперимента, анализа включений и интерпретации результатов. |
| | Б.ОПК-3. И-2. Владеет базовыми навыками получения информации (полевой, камеральной, лабораторной) для решения стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки. | <i>Уметь:</i> выбирать оптимальную методику для решения задачи, производить отбор образцов и препаратоподготовку, классифицировать и описывать включения различных типов. |
| | Б.ОПК-3. И-3. Владеет базовыми навыками обработки и интерпретации информации при решении стандартных задач профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки. | <i>Владеть:</i> основными методами препаратоподготовки и анализа включений. |

4. Формат обучения – лекционные и лабораторные занятия, не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.)

5. Объем дисциплины (модуля): 2 зачетных единицы, 72 академических часа, в том числе 42 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (28 часов – занятия лекционного типа, 14 часов – лабораторные занятия) и 30 академических часов на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен

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

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Всего (часы) | В том числе | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости) |
|--|--------------|--|----------------------------|---------------------------|-------|--|
| | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы | | | | |
| | | Занятия лекционного типа | Занятия практического типа | Занятия семинарского типа | Всего | |
| Введение. История метода. Задачи, решаемые методами изучения расплавных и флюидных включений. | 2 | 2 | | – | 2 | |
| Механизмы образования включений и их типизация. | 4 | 4 | 2 | | 6 | |
| Характерные особенности различных типов включений и обратимые изменения после их консервации | 2 | 2 | 4 | | 6 | |
| Необратимые эффекты, искажающие состав расплавных включений и изменение флюидных включений после консервации | 2 | 2 | | | 2 | |
| Аналитические методы изучения включений | 2 | 2 | 4 | | 6 | Подготовка к контрольному опросу, 4 часа |
| Критерии отбора образцов для исследования и основные методы препаратоподготовки | 2 | 2 | | | 2 | Подготовка к контрольному опросу, 4 часа |

| | | | | | | |
|--|--|-----------|---|--|-----------|--|
| Основные типы экспериментов с расплавленными включениями | | 2 | 2 | | 4 | Подготовка к контрольному опросу, 4 часа |
| Основные типы экспериментов с флюидными включениями | | 2 | 2 | | 4 | Подготовка к контрольному опросу, 4 часа |
| Методы оценки параметров кристаллизации с помощью результатов изучения включений | | 2 | | | 2 | Подготовка к контрольному опросу, 4 часа |
| Определение эволюции расплавов магматических систем с помощью расплавленных и флюидных включений | | 4 | | | 4 | Подготовка к контрольному опросу, 4 часа |
| Определение первичных расплавов и мантийная геохимия по данным расплавленных включений | | 4 | | | 4 | Подготовка к контрольному опросу, 4 часа |
| Промежуточная аттестация <i>экзамен</i> | | | | | | 2 |
| Итого | | 72 | | | 42 | 30 |

Содержание разделов дисциплины:

Теоретическая часть

Вводная часть. (Лекция 1) Понятия магма, расплав, флюид, фенокрист, ксенокрист, вулканическое стекло, флюидные и расплавные включения, минерал-узник, дочерняя фаза. Прямые и косвенные методы изучения расплавов (лавовые озера, закалочные стекла, расплавные включения), их преимущества и недостатки. История метода. Задачи, решаемые методами изучения расплавных и флюидных включений.

Лекция 2. Расплавные и газовой-жидкие включения. Механизмы образования включений. Необходимые условия для захвата включений. Факторы влияющие на количество образующихся включений. Механизмы гомофазного захвата включений: ростовой, на границах сростков, при неоднородном росте, при залечивании зон резорбции, при скелетном росте, "рыхлая середина". Механизмы гетерофазного захвата включений: с участием твердой или флюидной фазы, при ликвационных процессах и при процессах смешения.

Типизация включений в минералах. Деление включений на расплавные, флюидные (газово-жидкие), твердофазные, включения гетерофазного захвата (комбинированные). Деление на первичные, вторичные, первично-вторичные, эксклюзионные, эмульсионные и псевдопервичные включения. Критерии первичности включений. Деление на однофазные, двухфазные, трехфазные и многофазные включения. Деление расплавных включений на стекловатые, частично-раскристаллизованные, полностью раскристаллизованные и перекристаллизованные.

Лекция 3. Морфологические отличия включений разных типов. Морфологические особенности твердофазных включений. Характерные особенности флюидных включений. Характерные особенности различных типов расплавных включений. Характерные особенности вскрытых включений.

Обратимые изменения расплавных включений после их захвата. Зависимость облика расплавных включений от скорости закалки, причины возникновения газового пузырька. Кристаллизация дочерних фаз.

Лекция 4. Эффекты, искажающие состав расплавных включений. Граничный слой (кристаллизационный дворик) и его влияние на состав включений. Захват включений на фронте резорбции. Частичная декрепитация. Миграция включений. Диффузионный обмен с минералом-хозяином. Изменение формы включений после захвата, признаки частичной декрепитации включений, диссипация водорода из включений, вторичные изменения и девитрификация.

Изменение флюидных включений после захвата. Миграция газовой-жидких включений. Расшнуровывание. Декрепитация и перезаплатнение. Коридор устойчивости включений, критерии выделения неизмененных включений.

Методы изучения включений.

Лекция 5. Аналитические методы изучения включений. Особенности микроаналитических методов. Калибровка и эталонирование. Различия EDS и WDS микроанализаторов. Микрозондовый анализ (особенности анализа стекол и минерала-хозяина). Причины зональности стекол во включениях. Применение SIMS (ионного зонда), PIXE (протонного зонда), LA-ICPMS, FTIR (локальной инфракрасной спектроскопии), раман-спектроскопии и других локальных методов для изучения расплавных и флюидных включений.

Лекция 6. Критерии отбора образцов для исследования. Выбор контейнера, отбор образцов, определение оптимального размера рабочей фракции. Подготовка препаратов для изучения включений. Критерии отбора включений для термометрического эксперимента и для микроаналитических работ. Подготовка зерен для термометрического эксперимента. Работа с зернами минералов после эксперимента. Ведение документации.

Эксперименты с флюидными включениями. Гомогенизация включений. Криометрия. Декрепитация. Конструкционные особенности криотермокамер. Поведение флюидных включений при нагреве и охлаждении (температуры эвтектики льда, клатраты и

др.). Конструкционные особенности декрепитометров. Условная соленость. Оценка плотности включений.

Лекция 7. Эксперименты с расплавленными включениями. Эксперименты с визуальным контролем, эксперименты без визуального контроля. Термокамеры для исследования включений. Поведение включений при термометрическом эксперименте.

Определение температуры кристаллизации: ликвидусные термометры, термометры обменного равновесия. Модели Оливин-Расплав (Ford, 1983), Клинопироксен-Расплав (Loucks, 1996), Плагиоклаз-Расплав (Арискин, 2000), Ортопироксен-Расплав (Арискин, 1986). Оценка температуры по твердофазным включениям. Температура захвата и температура фризинга. Влияние давления, содержания воды, фугитивности кислорода на температуру кристаллизации. Оценка точности определения температуры.

Лекция 8. Оценка параметров кристаллизации. Методы оценки давления (ликвидусные ассоциации, высокоплотные флюидные включения). Методы оценки окислительно-восстановительной обстановки и содержания летучих в магмах с помощью расплавленных включений. Определение состава расплава. Соотношение состава стекла во включении и состава расплава. Метод контрольных линий. Метод обратной кристаллизации.

Применение методов изучения включений в петрологии.

Лекция 9. Определение эволюции расплавов магматических систем. Моделирование кристаллизации. Магматический очаг и условия кристаллизации в очагах. Андезитовый вулканизм. Причины извержений.

Определение первичных расплавов и мантийная геохимия. Критерии первичности расплавов. Моделирование обратной кристаллизации. Причины и условия плавления мантии. Гетерогенность мантийных расплавов. Характеристика мантийных выплавов различных геодинамических обстановок. Микропенки расплавов, малые степени плавления мантии, сегрегация расплавов от мантийного субстрата.

Лекция 10. Флюидный режим вулканизма. Растворимость летучих компонентов в расплавах. Оценка газовой эмиссии вулканов и отдельных извержений. Оценка состава флюида надсубдукционных зон.

Рудообразование. Накопление рудных компонентов в магматических системах. Прямые наблюдения сульфидных расплавов. Изучение с помощью расплавленных включений механизмов образования рудообразующих сред. Перспективы развития метода.

Щелочной вулканизм. Составы расплавов и флюидов при образовании щелочных пород. Условия образования щелочных и ультращелочных расплавов, сопоставление с экспериментальными работами. Карбонатно-силикатные и солевые расплавы.

Лекция 11. Включения в минералах метаморфических комплексов и их интерпретация. Флюидные включения в метаморфических породах низких и средних ступеней метаморфизма. Включения в мантийных ксенолитах вулканических пород. Высокобарные включения. Переуравновешивание включений с вмещающей средой при изменении давления. Структуры kick-band, их состав и состав мантийного флюида.

Синтетические включения. История развития. Применение синтетических включений для эксперимента. Методика синтеза флюидных включений. Методика синтеза расплавленных включений.

Практическая часть

Содержание практических (лабораторных занятий). Лабораторные занятия проводятся для закрепления основных разделов лекционной части курса. В первой части курса студенты знакомятся с классификацией расплавленных, газовой-жидких и кристаллических включений и основами диагностики включений в различных типах препаратов. Вторая часть посвящена изучению основных приемов препаратоподготовки и экспериментов с расплавленными включениями. Третья часть направлена на освоение и закрепление приемов обработки и интерпретации результатов. Особое внимание уделяется правильному описанию и диагностике включений и их особенностей.

Рекомендуемые образовательные технологии.

Технология полного усвоения (построение учебного процесса направлено на то, чтобы подвести всех учащихся к единому, чётко заданному уровню овладения знаниями и умениями. Содержание курса разбивается на небольшие блоки, с обязательным промежуточным контролем). При проведении практических занятий рекомендуется также использовать технологию обучения как учебного исследования (основные этапы: столкновение с проблемой, сбор данных («верификация»), сбор данных (экспериментирование), построение объяснения, анализ хода исследования, выводы).

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.

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных расчетных/лабораторных/практических работ.

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы/работы.

Домашние задания для самостоятельной подготовки студентов:

- самостоятельные наблюдения и описания расплавных включений в различных минералах в шлифах;
- обработка данных самостоятельных наблюдений с использованием программного обеспечения, визуализация результатов.

Рекомендуемые темы докладов, рефератов:

1. Включения в минералах метаморфических комплексов и их интерпретация.
2. Изучение с помощью расплавных включений механизмов образования рудообразующих сред.
3. Растворимость летучих компонентов в расплавах.
4. Характеристика мантийных выплавов различных геодинамических обстановок.
5. Методы оценки окислительно-восстановительной обстановки и содержания летучих в магмах с помощью расплавных включений.

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

Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации:

1. Понятия магма, расплав, флюид, фенокристал, ксенокристал, вулканическое стекло, флюидные и расплавные включения, минерал-узник, дочерняя фаза.
2. Прямые и косвенные методы изучения расплавов (лавовые озера, закалочные стекла, расплавные включения), их преимущества и недостатки.
3. Задачи, решаемые методами изучения расплавных и флюидных включений.
4. Расплавные и газовой-жидкие включения.
5. Необходимые условия для захвата включений.
6. Механизмы гомофазного захвата включений: ростовой, на границах сростков, при неоднородном росте, при залечивании зон резорбции, при скелетном росте, "рыхлая середина".
7. Механизмы гетерофазного захвата включений: с участием твердой или флюидной фазы, при ликвационных процессах и при процессах смешения.
8. Деление включений на расплавные, флюидные (газово-жидкие), твердофазные, включения гетерофазного захвата (комбинированные).
9. Критерии первичности включений. Деление на однофазные, двухфазные, трехфазные и многофазные включения.
10. Деление расплавных включений на стекловатые, частично-раскристаллизованные, полностью раскристаллизованные и перекристаллизованные.

11. Характерные особенности различных типов расплавных включений. Характерные особенности вскрытых включений.
 12. Эффекты, искажающие состав расплавных включений. Изменение флюидных включений после захвата.
 13. Аналитические методы изучения включений.
 14. Критерии отбора образцов для исследования.
 15. Эксперименты с флюидными включениями.
 16. Эксперименты с расплавными включениями.
 17. Оценка параметров кристаллизации.
 18. Определение эволюции расплавов магматических систем. Моделирование кристаллизации.
 19. Магматический очаг и условия кристаллизации в очагах.
 20. Моделирование обратной кристаллизации.
 21. Включения в минералах метаморфических комплексов и их интерпретация
- Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.**

| Результаты обучения | «Неудовлетворительно» | «Удовлетворительно» | «Хорошо» | «Отлично» |
|--|-----------------------|---|---|--|
| Знания: принципы классификации и методы описания флюидных и расплавных включений в минералах, возможности и ограничения применения методов для решения геологических, минералогических и петрологических задач, основные методы эксперимента, анализа включений и интерпретации результатов. | Знания отсутствуют | Фрагментарные знания | Общие, но не структурированные знания | Систематические знания |
| Умения: ставить задачу исследования включений, выбирать оптимальную методику для решения задачи, производить отбор образцов и препаратоподготовку, | Умения отсутствуют | В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности не принципиального характера | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение выбрать и обосновать оптимальную методику исследования включений для | Успешное умение выбрать и использовать методы изучения включений, в том числе аналитические методы и физико-химические |

| | | | | |
|--|---|---|---|---|
| классифицировать и описывать включения различных типов. | | | решения петрологической задачи. | расчеты применительно к расплавленным включениям. |
| Владения: основными методами препаратоподготовки и анализа включений | Навыки владения графическими методами отсутствуют | Фрагментарное владение методикой, наличие отдельных навыков | В целом сформированные навыки использования графических методов изображения состав вод. | Владение основными методами препаратоподготовки и эксперимента, использование их для решения петрологических задач. |

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

Плечов, П. Ю. (2014). Методы изучения флюидных и расплавленных включений. М.: КДУ.

дополнительная литература:

1. Реддер Э. «Флюидные включения», в 2-х томах, М., «Мир», 1984
2. Граменицкий Е.Н., Котельников А.Р., Батанова А.М., Щекина Т.И., Плечов П.Ю. "Экспериментальная и техническая петрология", М., Научный Мир, 2000, 415 с.
3. Плечов П.Ю. "Методы работы с расплавленными включениями", Интернет-пособие, <http://geo.web.ru/>

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

В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

Геологическая энциклопедия GeoWiki - <http://wiki.web.ru>.

Д) Материально-техническое обеспечение:

- а) помещение – аудитория, рассчитанная на группу из 10 учащихся;
- б) оборудование – персональные компьютеры;

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель (преподаватели) – проф. Плечов П.Ю.

11. Разработчик программы – проф. Плечов П.Ю.