

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Геолого-географический факультет



22 июня 2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Флюидный режим минералообразующих систем
по направлению подготовки

05.04.01 Геология

Направленность (профиль) подготовки
«Эволюция Земли: геологические процессы и полезные ископаемые»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2023

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.03.02

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП



В.В. Врублевский

Председатель УМК



М.А. Каширо

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен использовать теоретические основы специальных и новых разделов геологических наук при решении задач профессиональной деятельности;

ОПК-2 Способен самостоятельно формулировать цели исследований, устанавливать последовательность решения профессиональных задач;

ОПК-3 Способен самостоятельно обобщать результаты, полученные в процессе решения профессиональных задач, разрабатывать рекомендации их по практическому использованию;

ПК-1 Способен решать стандартные и нестандартные задачи профессиональной деятельности с использованием современных информационных технологий, в т.ч. ГИС- и ГГИС-технологий.

2. Задачи освоения дисциплины

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-1.2 Осуществляет поиск современной информации по теме задач профессиональной деятельности;

ИОПК-1.3 Решает задачи профессиональной деятельности, синтезируя фундаментальные знания и результаты современных исследований в области специальных разделов геологических наук и смежных разделов естественнонаучной области знаний;

ИОПК-2.2 Устанавливает комплекс методов исследования, в т.ч. из различных областей, и технологию их проведения в зависимости от типов задач профессиональной деятельности;

ИОПК-3.2 Проводит комплексную оценку результатов выполненных научных исследований / производственных работ (в соответствии с направленностью (профилем) магистратуры) в рамках поставленной цели;

ИПК-1.1 Определяет критерии оценки и качество (качественные показатели) выполненных научных исследований / производственных работ (в соответствии с направленностью (профилем) магистратуры) в зависимости от поставленных задач.

3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Блок дисциплин по выбору во 2 семестре.

4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине

Семестр 2, зачёт.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования бакалавриата: кристаллография, минералогия, химия.

Освоение данной дисциплины является теоретической и методической основой для дальнейшей научной работы выпускника.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых

– лекции: 10 ч.;

– семинары: 22 ч.;

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

Введение

Тема 1. Летучие компоненты и флюиды

1.1. Основные понятия физической химии, используемые в курсе: компонент, фаза, равновесие, фазовая диаграмма, число термодинамических степеней свободы, давление насыщенного пара.

1.2. Летучие компоненты, минералообразующие среды и системы. Флюидный режим. Флюид: определение флюида в отношении к суб- и надкритическому состоянию вещества. Свойства вещества в надкритическом состоянии. Формы концентрирования и рассеивания летучих компонентов в эндогенных процессах.

1.3. Источники летучих в составе Земли. Гипотезы об источниках летучих компонентов. Поведение летучих в ходе аккреции и ранних стадий дифференциации вещества планеты. Распределение летучих компонентов между оболочками Земли.

Тема 2. Теоретические основы исследования флюидного режима. Методы исследования

2.1. Главные вопросы теории

2.2. Интенсивные и экстенсивные параметры процессов. Физические и химические свойства минералообразующих сред: плотность, объем, температура, давление, концентрация, показатели кислотно-основных и окислительно-восстановительных свойств. Единицы измерения. Уравнения состояния идеального газа (уравнение Менделеева-Клапейрона) и уравнение состояния с учетом неидеальности смешения (уравнение Ван-дер-Ваальса)

2.3. Растворимость и насыщение. Фазовые диаграммы. Элементы фазовых диаграмм (ликвидус, солидус, эвтектика, перитектика, сольвус (бинодаль)). Определение составов фаз в барицентрических координатах. Изотермические и изобарические сечения и проекции. Изоплеты.

2.4. Теоретическое моделирование. Термодинамическое моделирование, сводящееся к минимизации свободной энергии (энергии Гиббса); Интерполяция и экстраполяция эмпирических зависимостей, выведенных с помощью регрессионного анализа.

2.5. Экспериментальное моделирование: Методы исследования вещества при высоких температурах и давлениях: методы независимым заданием температур и давлений; методы, в которых температура и давление задаются совместно; исследование в алмазных наковальнях.

2.6. Непосредственное определение свойств минералообразующих сред путем изучения включений в минералах

2.7. Классификация включений минералообразующих флюидов и расплавов в минералах: классификация по фазовому составу при комнатной температуре, классификация по происхождению (первичные или вторичные); включения гетерогенного захвата)

2.8. Методы исследования включений. Метод гомогенизации: определение плотности, температуры и давления. Использование результатов исследования включений гетерогенного захвата. Методы микротермометрии при низких и отрицательных температурах: определение состава захваченных растворов и газовых фаз.

2.9. Методы исследования состава включений

2.10. Определение хемометрии. Оксигарометрия (фугметрия) и гигрометрия, как частные случаи хемометрии.

2.11. Оксигарометрия и фугметрия других летучих компонентов. Фугитивность. Буферные реакции и закон действующих масс. Твердофазовые буферы. Примеры твердофазовых буферов фугитивности кислорода (QFM и буферные реакции в системе Fe-Ti-O). Примеры буферных реакций для фугитивности серы.

2.12. Гигрометрия. Плагиоклаз-жидкостный гигрометр.

Тема 3. Флюидный режим магматической кристаллизации

3.1. Расплавы и магмы

3.2. Рассеивание и концентрирование летучих компонентов в магматических минералах

3.3. Рассеивание и концентрирование летучих компонентов в процессах магматической кристаллизации и дегазации: двухкомпонентные диаграммы плавкости с летучими (NaCl-H₂O и силикат-H₂O), элементы диаграмм в координатах P и T: ограничивающие диаграммы однокомпонентных систем, критическая кривая, кривая (поверхность) кристаллизации (г+ж+крист); различие в форме этих элементов в двух типах диаграмм.

3.4. H₂O в магматических процессах: растворимость воды (модель У. Барнема) и формы растворения воды в силикатных расплавах; зависимость растворимости воды в силикатных расплавах от температуры, давления и состава расплава; влияние воды на свойства силикатных расплавов и их подвижность; влияние воды на температуры кристаллизации силикатных расплавов, насыщение силикатных расплавов водой: при декомпрессии (первое кипение) и в ходе кристаллизации безводных минералов (второе или ретроградное кипение)

3.5. CO₂ в силикатных расплавах: зависимость растворимости углекислоты в силикатных расплавах от температуры, давления и состава расплава; формы растворения углекислоты в силикатных расплавах; карбонатитовые и кимберлитовые магмы; взаимная растворимость воды и углекислоты в силикатных расплавах.

3.6. Рассеивание и концентрирование летучих компонентов в процессах расслоения магматических расплавов (ликвации): диаграмма плавкости с метастабильным и стабильным расслоением (ликвацией); природа ликвации силикатных расплавов и роль летучих компонентов в ликвации. Несиликатные расплавы: карбонатитовые, фторидные, водно-хлоридные, сульфидные.

3.7. Сера в силикатных расплавах: формы растворения серы в силикатных расплавах; зависимость растворимости серы в силикатном расплаве от температуры, давления и состава расплава; сульфидные расплавы.

3.8. Галогены (F и Cl) в силикатных расплавах: формы растворения галогенов в силикатных расплавах; зависимость растворимости галогенов от давления и состава расплава; характер распределения фтора и хлора между силикатным расплавом и водным флюидом; расслоение в магмах с высокими содержаниями фтора и хлора.

3.9. Флюидный режим кристаллизации магм, насыщенных водой, фтором, хлором и бором: зависимость PT параметров солидуса гранитных магм от содержания летучих и флюсующих компонентов; гранитные пегматиты; переход от магматической кристаллизации к пневматолитовой и гидротермальной в процессе образования гранитных пегматитов.

Тема 4. Минералообразование из водных и водно-углекислотных флюидов: пневматолитовые и гидротермальные процессы.

4.1. Состав растворителя и растворенных веществ природных водных флюидов

4.2. Химический транспорт вещества в водных флюидах: минерализаторы; комплексные ионы и электронейтральные комплексы; составы природных флюидов подводных «курильщиков», геотермальных флюидов и бассейновых вод; зависимость различных форм транспорта и отложения минерального вещества от показателя

кислотности-щелочности и окислительно-восстановительного режима (диаграммы Eh-pH для систем $Mn+H_2O+CO_2$ и $Fe+S+H_2O+CO_2$)

4.3. Источники летучих компонентов для процессов пневматолитовой и гидротермальной кристаллизации; использование изотопии Н и О для определения источника воды.

4.4. Явления кристаллизации и метасоматоза: два различных механизма образования минералов в пневматолитовых и гидротермальных процессах; метасоматоз и метасоматические процессы; реакции альбитизации, грейзенизации, серицитизации и хлоритизации (характер изменения химизма растворов в этих процессах); последовательность метасоматических процессов во времени (на примере грейзенизации).

4.5. Дегазация (фазовая сепарация) водных и водно-углекислотных флюидов: фазовая сепарация в системе H_2O-CO_2 (дегазация в широком диапазоне давлений в природных процессах); фазовая сепарация в водно-солевых системах на примере системы $H_2O-NaCl$; особенности расположения изоплет жидкости и газа в области двухфазового (жидкость+пар) равновесия и характер распределения растворенного в воде солевого компонента между жидкостью и паром

4.6. Дегазация магматогенного водного флюида в процессах гидротермального минералообразования на месторождениях порфиривого типа: соотношение области двухфазового (жидкость+пар) равновесия с параметрами солидуса водонасыщенной гранитной магмы; модель порфиривого месторождения; распределение разных типов метасоматитов; гомогенные и гетерогенные флюиды в процессе образования минерализации порфиривого месторождения.

Тема 5. Гидротермальные процессы на поверхности Земли.

5.1. Химический транспорт элементов в магматогенной газовой фазе

5.2. Гидротермальные выходы на дне океанов: подводные «курильщики»; взаимодействие эндогенных флюидов, подземных и океанских вод в процессе минералообразования.

5.3. Субаэральные фумарольные и геотермальные поля областей активного вулканизма: роль ювенильных и метеорных вод в процессах минералообразования; рециклинг серы; эпитеpmальная рудная минерализация (Ag-Au, Cu-Au с Te, Se и As); высокотемпературное минералообразование в каналах фумарол: окисленные фумаролы в. Толбачик (сульфаты, фосфаты, арсенаты бораты щелочных металлов, Ca, Mg и Cu) и восстановленные фумаролы в. Кудрявый (сульфиды, сульфосоли Zn, Pb, Bi, Mo, Re).

Тема 6. Флюидный режим процессов регионального метаморфизма.

6.1. Флюидный режим процессов метаморфизма: связь процессов разрушения, осадкообразования и метаморфизма; виды воды в минералах; поведение летучих в процессах диагенеза и катагенеза (удаление кристаллогидратной воды и преобразование гидрослюд в слюды); поведение воды в процессах регионального метаморфизма; связь режима CO_2 и H_2O с параметрами метаморфизма.

Тема 7. Глобальный эндогенный цикл летучих компонентов.

7.1. Глобальные циклы летучих компонентов: летучие и тектоника литосферных плит;

7.2. Глобальный цикл углерода; стационарный цикл углерода и его нарушения;

7.3. Глобальный цикл воды; вода в переходной зоне мантии Земли; вода на границе ядро – мантия Земли и образование суперплюмов.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, устного опроса, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Порядок формирования компетенций, результаты обучения, критерии оценивания и перечень оценочных средств для текущего контроля по дисциплине приведены в Фондах оценочных средств для курса «Флюидный режим минералообразующих систем».

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачёт во втором семестре проводится в устной форме и представляет собой демонстрацию доклада (ИОПК-1.2), основанного на применении методов термобарогеохимии (ИОПК-2.2) для решения генетических задач (ИОПК-1.3) при выполнении индивидуальной работы (ИПК-1.1). После доклада проводится собеседование, призванное выяснить глубину овладения знаниями, умениями и навыками (ИОПК-3.2).

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=32825>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. Термобарогеохимия: Методы исследований и перспективы использования включений минералообразующих сред. М: Недра, 1979, 271 с. <https://koha.lib.tsu.ru/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=122401>

б) дополнительная литература:

Томиленко А.А., Чупин В.П. Термобарогеохимия метаморфических комплексов. Институт геологии и геофизики. Труды АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т геологии и геофизики. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1957-1990, Вып. 524, отв. ред. Ю.А. Долгов, 1983, 200 с.

в) ресурсы сети Интернет:

- Рёддер Э. Флюидные включения в минералах. М.: Мир, 1987, Т. 1–2. <http://www.geokniga.org/books/236> (том 1), <http://www.geokniga.org/books/237> (том 2).

- Плечов П.Ю. Методы изучения флюидных и расплавных включений. М.: Изд. “КДУ”, 2014, 268 с. <https://www.geokniga.org/bookfiles/geoknigametodyizucheniaflyuidnykhirasplavnnykhvycheniy.pdf>

- Мельников Ф.П., Прокофьев В.Ю., Шатагин Н.Н. Термобарогеохимия. М.: Академический Проект, 2008, 222 с. <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-termobarogeohimiya.pdf>

- Смирнов С.З., Томас В.Г., Соколова Е.Н., Куприянов И.Н. Экспериментальное исследование герметичности включений водосодержащих силикатных расплавов при внешнем давлении D₂O при 650°C и 3 кбар // Геология и геофизика, том 52, №5, 2011, с.690-703. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16360178>

- Сайт с видеозаписями поведения включений при прогреве и обсуждением фазовых переходов https://fluid-inclusions.univ-lille.fr/co/000_Flincs_module.html

- Bodnar R.J., Student J.J. Melt inclusions in plutonic rocks: petrography and microthermometry // Melt inclusions in plutonic rocks. Min Association Canada, 2006, Vol.36, p.1-26. https://www.academia.edu/30589572/Melt_Inclusions_in_Plutonic_Rocks

- Fluids in the Continental Crust by Bruce W.D., Yardley and Robert J. Bodnar // Geochemical perspectives. Volume 3, Number 1–April 2014. <https://www.geochemicalperspectives.org/wp-content/uploads/GPv3n1.pdf>

- Пособие по расчету минеральных равновесий в магматических системах: <http://melts.ofm-research.org/>
- Пособие по расчету растворимости флюидных компонентов H₂O и CO₂ в силикатном расплаве: http://melts.ofm-research.org/CORBA_CTserver/Papale/Papale.php

13. Перечень информационных ресурсов

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
 - Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office OneNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
 - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

- б) информационные справочные системы:
 - Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
 - Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
 - ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
 - ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
 - Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
 - ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
 - ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

- в) профессиональные базы данных:
 - Электронные ресурсы Web of Science Core Collection (Thomson Reuters Scientific LLC.), Journal Citation Reports + ESI
 - БД Scopus (Elsevier)
 - Лицензионные материалы на сайте eLibrary.ru

14. Материально-техническое обеспечение

- Аудитории для проведения занятий лекционного типа.
- Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.
- Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Смирнов Сергей Захарович, доктор геолого-минералогических наук, профессор Новосибирского государственного университета, заместитель директора по науке Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, член Совета Международной минералогической ассоциации (ИМА).