

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 УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Термодинамика и теплофизика мерзлых пород»

Автор-составитель: Комаров И. А.

Уровень высшего образования:
Магистратура

Направление подготовки: 05.04.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Гидрогеология, инженерная геология, геокриология

Магистерская программа «Геокриология»

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» (*программа магистратуры, реализуемая последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) 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.

Цели и задачи дисциплины

Цель - овладение методами термодинамики и теплофизики используемыми в геокриологии для прогноза изменения температурного, влажностного, ионно-солевого режима мерзлых и промерзающих пород, оценки возникающих в них полей напряжений и деформаций, а также прогноза свойств пород .

Задачи: выработка навыков самостоятельной работы по планированию, организации и проведению полевых и лабораторных экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных результатов; овладение методами классической, неравновесной и статистической термодинамики для выявления природы и механизма формирования свойств пород и интенсивности протекающих геокриологических процессов; овладение методами теплофизики для целей физического и математического моделирования динамики температурных и массовых полей, полей напряжений и деформаций при взаимодействии ММП с окружающей средой и инженерными сооружениями.

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

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Знания в части общекультурной и общенаучной подготовки – на уровне требований Образовательного стандарта МГУ, направление «Геология», уровень бакалавриат; знания в области геологии – в соответствии с требованиями вступительного экзамена в магистратуру (общие вопросы, вопросы профиля «Геокриология»).

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующей при освоении дисциплин Инженерная геокриология, Криология планет Солнечной Системы, а также для выполнения научно-исследовательской работы и подготовки выпускных работ магистрантами, специализирующимися по этой магистерской программе.

3. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины

ОПК-2.М Способность самостоятельно формулировать цели работы, устанавливать последовательность решения профессиональных задач (формируется частично),

ОПК-5.М Способность использовать современные вычислительные методы и компьютерные технологии для решения задач профессиональной деятельности (формируется частично),

ПК-4.М Способность создавать и исследовать модели изучаемых объектов на основе использования теоретических и практических знаний в области геологии (формируется частично),

ПК-9.М Способность использовать современные методы обработки и интерпретации комплексной информации для решения производственных задач (формируется частично),

СПК-1.М Способность использовать современные научные представления о закономерностях формирования и развития мерзлых толщ и криогенных геологических процессов; способность применять современные методики комплексного изучения криосферы Земли и других планет для решения научных и прикладных задач геокриологии.

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

В результате освоения дисциплины , обучающийся должен:

Знать: методологию и пределы применимости использования термодинамики и теплофизики для прогноза изменения температурного, влажностного, ионно-солевого режима мерзлых и промерзающих пород, оценки возникающих в них полей напряжений и деформаций, а также прогноза свойств пород .

Уметь: осуществлять сбор, анализ и интерпретацию геокриологической информации по изучаемым объектам; анализировать применимость различных методик прогноза свойств пород и динамики мерзлотных процессов, имеющих в литературных и фондовых источниках, нормативных документах.

Владеть: общепринятыми методиками расчетной оценки свойств мерзлых пород, приемами работы со специальным и объектно-ориентированным программным продуктом.

4. Формат обучения – лекционные и семинарские занятия (*часть дисциплины реализуется с использованием электронного обучения*)

5. Объем дисциплины (модуля) составляет **2 з.е.**, в том числе **42 академических часов**, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**12 часов** – занятия лекционного типа, **30 часов** – занятия семинарского типа, **30 академических часа** 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

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Курс условно можно разделить на две части.

В первой части дается представление о мерзлых породах как термодинамических системах и об основных элементах классической, неравновесной и статистической термодинамики, применительно к проблемам, решаемым в геокриологии. Подробно рассматриваются термодинамические модели жидкой, твердой и газообразной фаз в мерзлых породах, а также модели, используемые для прогноза параметров и свойств мерзлых пород.

Вторая часть посвящена знакомству и освоению методов прогноза температурных и массовых полей, полей напряжений и деформаций в породах при взаимодействии с окружающей средой, а также методов прогноза свойств пород, включая программный продукт и нормативные документы.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов (трудоемкость в часах)			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		лекции	семинары	Всего	
Раздел 1. Мерзлые породы как термодинамические системы. Элементы классической и неравновесной термодинамики.		2	2	4	
Раздел 2. ММП и СМП как термодинамические системы. Саморазвитие и саморегуляция ММП. Пределы применимости термодинамического метода для решения геокриологических задач.		2	2	4	

Раздел 3. Термодинамика жидкой фазы в мерзлых породах.		2	4	6	написание реферата, 8 часов
Раздел 4. Термодинамика твердой и газовой фазы.		2	4	6	
Раздел 5. Термодинамические модели и прогноз параметров и свойств засоленных, заторфованных, крупнообломочных пород и криопэггов.			6	6	
Раздел 6. Основы теории переноса тепла и массы в мерзлых и промерзающих (протаивающих) породах.		2	4	6	
Раздел 7. Моделирование процессов переноса тепло -и массопереноса при их взаимодействии с окружающей средой и инженерными сооружениями.		2	8	10	написание реферата, 8 часов Подготовка к контрольному опросу, 6 часов
Промежуточная аттестация					8
Итого:	72		42		30

Содержание разделов дисциплины:

Раздел I. Предмет, задачи и содержание курса; его методологическая основа. Связь с другими курсами. Молекулярно-кинетический и феноменологический (термодинамический) подходы. Основные представления молекулярно-кинетической теории при описании процессов происходящих в мерзлых и промерзающих породах. Пределы применимости термодинамического метода для решения геофизиологических задач. Элементы классической термодинамики. Термодинамическая система. Компоненты системы. Термодинамические потенциалы. Энергия Гиббса и химический потенциал. Основные представления неравновесной и статистической термодинамики.

Раздел 2. ММП и СМП как термодинамические системы.

Саморазвитие и саморегуляция ММП. Устойчивость и реакция (отклик) на внешние воздействия и индуцированные ими внутренние изменения. Обратные связи.

Раздел 3. Термодинамика жидкой фазы мерзлых породах.

Общие аспекты термодинамического описания равновесия поровой влаги в талых и мерзлых породах. Термодинамическое описание фазового равновесия во влагонасыщенных и невлагонасыщенных незасоленных породах. Влияние давления и учет механических взаимодействий со скелетом пород. Адсорбционное равновесие поровой влаги и равновесие лед- незамерзшая вода. Фазовое равновесие при наличии в поровой влаге ионов легкорастворимых солей. Термодинамика криопэггов.

Раздел 4. Термодинамика твердой и газовой фазы.

Термодинамические характеристики основных породообразующих минералов и льда. Термодинамика основных физико-химических процессов происходящих в породах при фазовых переходах влаги. Поровые газы как идеальные или реальные газовые смеси. Термодинамические параметры тяжелых углеводородов. Равновесие углеводородных систем с конденсированными водными фазами. Термодинамика газогидратов в мерзлых породах.

Раздел 5. Термодинамические модели и прогноз параметров и свойств мерзлых пород.

Термодинамические модели и основные расчетные соотношения для прогноза температуры начала замерзания и содержания незамерзшей воды в незасоленных и засоленных породах, торфах и заторфованных породах, крупнообломочных породах с мелкодисперсным заполнителем по литературным источникам и нормативной литературе. Специфика прогноза при малых и больших концентрациях порового раствора в породах с морским и континентальным типом засоления. Методика прогноза фазового и химического равновесия рассолов в криопэгах. Расчет параметров фазового и химического равновесия (температуры замерзания, содержания незамерзшей воды, плотности, рН) поровых растворов засоленных пород, криопэгов и придонных пород шельфа северных морей с помощью компьютерной программы и с помощью приближенных соотношений.

Раздел 6. Основы теории переноса тепла и массы в мерзлых и промерзающих породах.

Термодинамика и механизмы процессов переноса тепла и массы. Методы описания теплопереноса в мерзлых породах. Учет анизотропности, слоистости и трещиноватости массива. Учет процессов массопереноса, фазовых и химических превращений. Теплоперенос в упруго деформируемом массиве. Зависимость теплофизических характеристик от состава, строения пород и термобарических условий. Методы описания переноса влаги в жидкой и парообразных фазах. Миграция ионов легкорастворимых солей, тяжелых элементов, радионуклидов, органических и биологических примесей. и методы их прогноза. Расчетные методы определения свойств пород. Кинетика фазовых превращений поровой влаги. Влияние фазовых переходов и химических взаимодействий на процесс миграции влаги и ионов. Миграция влаги в условиях простых нагружений (сжатие, сдвиг) и в пластически деформируемом массиве. Обзор современных методов экспериментального определения тепло- и массообменных свойств пород в полевых и лабораторных условиях. Требования к аппаратуре. Ошибки измерений.

Раздел 7. Основы моделирования процессов тепло и массопереноса в массиве пород при их взаимодействии с окружающей средой и инженерными сооружениями.

Методы физического моделирования: лабораторный, полунатурный и натурный эксперимент. Масштабный эффект. Методы теории подобия и теории размерностей. Применение теории подобия при моделировании процесса взаимодействия участка газопровода с породами (по материалам франко-канадского и японского полунатурного эксперимента). Численный эксперимент его возможности и пределы применимости. Вероятностно-стахостические и детерминированные модели описания мерзлотных процессов, их достоинства и недостатки. Обзор аналитических и численных методов решения геокриологических задач. Специфика моделирования процессов сезонного промерзания-оттаивания пород при необходимости учета: темпа промерзания; периодичности изменения температурных условий на поверхности; теплообмена с подстилающими породами; наличия водоносного горизонта. Экспресс-методики для расчетной оценки температурного режима и глубин сезонного промерзания -оттаивания, случаи учета: нестационарности процесса теплообмена; кинетики фазовых переходов и переохлаждения; периодичности изменения температурных условий на поверхности пород на динамику процесса; теплообмена с подстилающими породами; заданного во времени законе снегонакопления на поверхности пород; теплообмена с приземным слоем воздуха и продольно фильтрующим потоком влаги. Многофронтные, многомерные и другие модели промерзания-оттаивания пород. Задача о взаимодействии фронта промерзания с газогидратной залежью. Прогноз температурного режима пород для условий высокогорья. Задача Стефана с абляцией поверхности. Модели процесса промерзания-оттаивания пород с учетом влагопереноса и льдовыделения. Бесфронтные модели. Модели процесса промерзания-оттаивания пород с

учетом влагосолепереноса. Динамика оттаивания мерзлых пород шельфа в субквальных условиях. Прогноз температурного режима криопэга и вмещающих пород. Моделирование процесса промерзания пород с учетом теплового переноса и возникновения полей напряжений и деформаций. Моделирование формирования криотекстур.

Рекомендуемые образовательные технологии

При реализации программы курса «Термодинамика и теплофизика мерзлых пород» используются различные образовательные технологии. Во время аудиторных часов занятия проводятся в виде:

- лекций с использованием ПК и мультимедийного проектора; литературных и нормативных источниками информации.
- демонстрации возможностей компьютерных программ «FREZCHEM-2» «FREEZBRINE». «SOLMMP»,

Самостоятельная работа магистрантов включает индивидуальную работу: над рефератом; выполнение заданных преподавателем расчетных задач; с рекомендуемыми литературными источниками и нормативными документами в библиотеке МГУ и библиотечном фонде кафедры геокриологии.

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 рефератов.

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся контрольные опросы по отдельным разделам лекционной части курса.

Примерные темы рефератов по разделам дисциплины

1. Многолетне –и сезонномерзлые породы как термодинамические системы.
2. Термодинамическое описание фазового и адсорбционного равновесия во влагонасыщенных и невлагонасыщенных незасоленных породах.
3. Термодинамическое описание фазового и химического равновесия в засоленных породах и криопэгах.
4. Природа, механизм и количественная оценка интенсивности миграции ионов легкорастворимых солей, тяжелых элементов, радионуклидов, органических и биологических примесей в мерзлых породах.
5. Термодинамика газогидратов в мерзлых породах.
6. Термодинамические модели и основные расчетные соотношения для прогноза температуры начала замерзания и содержания незамерзшей воды в незасоленных и засоленных породах, торфах и заторфованных породах, крупнообломочных породах с мелкодисперсным заполнителем (включая нормативные документы)
7. Термодинамические модели и основные расчетные соотношения для прогноза теплофизических свойств незасоленных и засоленных породах, торфах и заторфованных породах, крупнообломочных породах с мелкодисперсным заполнителем (включая нормативные документы)
8. Методы прогноза температурных и массовых полей, полей напряжений и деформаций в породах при их взаимодействии с природной средой
9. Специфика количественного описания процессов тепло - влагосолепереноса в дисперсных, скальных, и крупнообломочных грунтах.
10. Постановка задачи с явным и неявным выделением фронта промерзания. Обзор аналитических и численных методов решения задач промерзания –оттаивания пород
11. Обзор экспресс – методик для оценки динамики температурных полей и мощности

сезонного промерзания-оттаивания с учетом: темпа промерзания на динамику процесса; периодичности изменения температурных условий на поверхности пород; теплообмена с приземным слоем воздуха и наличия на поверхности слоя теплоизоляции; взаимодействия фронта фазового перехода с продольно фильтрующей водой.

12. Механизм и природа протекающих геокриологических процессов при наличии в массиве газогидратной залежи
13. Задача Стефана с абляцией поверхности. Модели описания процессов термоэрозии и термообразования мерзлых пород.
14. Модели процесса промерзания-оттаивания пород с учетом тепло- влагосолепереноса .
15. Методы прогноза теплового и водно-ионного режима засоленных пород , криопэгов и придонных слоев шельфа северных морей. Динамика оттаивания мерзлых пород шельфа в субаквальных условиях
16. Моделирование процесса промерзания пород с учетом тепловлагопереноса и возникновения полей напряжений и деформаций. Модели формирования криотекстур.
17. Моделирование динамики процесса морозного иссушения мерзлых пород.

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: Владение методологией и аппаратом термодинамики и теплофизики для прогноза изменения температурного, влажностного, ионно-солевого режима мерзлых и промерзающих пород, оценки возникающих в них полей напряжений и деформаций, а также прогноза свойств пород .	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематические знания
Умения: осуществлять сбор, анализ и интерпретацию геокриологической информации по изучаемым объектам; анализировать применимость различных методик прогноза свойств пород и динамики мерзлотных процессов, имеющих в литературных и фондовых источниках, нормативных документах.	Умения отсутствуют	В целом успешное, но не систематическое умение, допускает неточности непринципиального характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение использовать анализ и интерпретацию геокриологической информации, а также методики прогноза	Успешное умение использовать анализ и интерпретацию геокриологической информации, а также методики прогноза
Владения: общепринятыми методиками расчетной оценки свойств мерзлых пород,	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение методиками расчетной	Частично сформированные навыки пользования	Владение методиками расчетной оценки

приемами работы со специальным и объектно-ориентированным программным продуктом для целей геокриологического прогноза		оценки свойств и методиками прогноза с помощью программного продукта	ния методиками расчетной оценки свойств и методиками прогноза.	свойств и методиками геокриологического прогноза.
---	--	--	--	---

Самостоятельная работа студентов заключается: в знакомстве и проработке геокриологической информации, имеющейся в литературных и фондовых источниках и нормативных документах; написании рефератов по предложенным темам; решении практических расчетных задач сформулированных преподавателем с использованием учебной и справочной литературы, а также вычислительной техники.

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

Комаров И.А. Термодинамика и тепломассообмен в дисперсных мерзлых породах. М.: Научный мир. 2003, 608 с.

- дополнительная литература:

Основы геокриологии, ч. 1, М.: Изд-во МГУ, 1995, 368 с.

Основы геокриологии. ч. 4, М.: Изд-во МГУ, 2001, 687 с.

Гречищев С.Е., Чистотинов Л.В., Шур Ю.Л. Основы моделирования криогенных физико-геологических процессов. М.: Наука, 1984, 230 с.

Королев В.А. Термодинамика грунтов М.: Изд-во МГУ, 1997, 165 с.

Вуд Б., Фрейзер Д. Основы термодинамики для геологов. М.: Мир, 1981, 183 с.

Истомин В.А. Термодинамика природного газа М.: изд-во ОАО «Газпром», 1999, 105 с.

Комаров И.А. Прогноз температурного и ионно-солевого режима засоленных пород и криопэгов // Основы геокриологии, часть 6, М.: Изд-во Московского университета, 2008, с. 214-254.

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения пакеты программ Microsoft Office Excel, Microsoft Office PowerPoint

В) Перечень профессиональных баз данных, информационных справочных систем, нормативных документов

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

Д) Материально-техническое обеспечение: - персональные компьютеры.

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватель – Комаров И.А.

11. Автор программы – Комаров И.А.