

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**

**Термодинамика грунтов**

Автор-составитель: Королёв В.А.

**Уровень высшего образования:**

*Магистратура (ИМ)*

**Направление подготовки:**

**05.04.01 Геология**

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**Гидрогеология, инженерная геология, геоэкология**

**Магистерская программа**

**«Инженерная геология»**

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, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

Год (годы) приема на обучение – 2022.

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, 2021  
*Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.*

### Цель и задачи дисциплины

**Цель курса** – изучение грунтов и их массивов методами термодинамики. Задача - научить студентов применять методы термодинамики для решения различных инженерно-геологических задач при исследовании грунтов.

**Задачи:** научить студентов применять методы термодинамики для решения различных инженерно-геологических задач при исследовании грунтов.

### Краткое содержание дисциплины (аннотация):

Курс нацелен на изучение грунтов и их массивов методами термодинамики. Задача курса научить студентов применять методы термодинамики для решения различных инженерно-геологических задач и при изучении грунтов. В ходе овладения курсом студенты выполняют термодинамические расчеты и компьютерное моделирование ряда процессов в грунтах на базе термодинамики.

**1. Место дисциплины в структуре ОПОП** – относится к вариативной части, дисциплина по выбору.

### 2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

базируется на знаниях по дисциплинам «Общая геология»; «Инженерная геология, часть 1. Грунтоведение», «Инженерная геология, часть 2. Инженерная геодинамика»; «Гидрогеология», «Геокриология», «Механика грунтов», «Методология научных исследований в инженерной геологии».

Дисциплина необходима в качестве предшествующей для дисциплины «Современные проблемы инженерной геологии» а также для научно-исследовательской, научно-учебной практик, может использоваться 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
<b>ОПК-2. М.</b> Способен применять на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки при решении задач профессиональной деятельности.	<b>М.ОПК-2. И-1.</b> Использует на практике знания фундаментальных и прикладных разделов дисциплин, определяющих профиль подготовки, при решении исследовательских и прикладных задач профессиональной деятельности.	<b>Знать:</b> основы термодинамики грунтов; <b>Уметь:</b> применять методы термодинамики к оценке и анализу состава, строения и состояния грунтов, процессов энерго- и массообмена в них;
<b>ПК-3. М.</b> Способен создавать и исследовать модели изучаемых объектов на основе использования теоретических и практических знаний в области геологии.	<b>М.ПК-3. И-1.</b> Знает теоретические основы и методологию моделирования. <b>М.ПК-3. И-3.</b> Владеет базовыми навыками использования стандартных программ моделирования (по профилю подготовки). <b>М.ПК-3. И-4.</b> Знает	<b>Знать:</b> методы термодинамического моделирования. <b>Уметь:</b> создавать и исследовать термодинамические модели изучаемых объектов. <b>Владеть:</b> методами математического термодинамического моделирования.

		основные особенности интерпретации данных моделирования (по профилю подготовки).	
<b>ПК-6.М.</b> Способен использовать современные методы обработки и интерпретации комплексной информации для решения производственных задач.		<b>М.ПК-6. И-1.</b> Имеет представление о современных методах обработки и комплексной интерпретации информации, используемых для решения производственных задач (по профилю подготовки). <b>М.ПК-6. И-2.</b> Применяет методы обработки и комплексной интерпретации информации с использованием стандартных и специализированных программных пакетов	<b>Знать:</b> методы термодинамики для изучения грунтов, их состава, свойств и состояния, а также различных процессов в них. <b>Уметь:</b> применять методы термодинамики для решения практических инженерно-геологических задач. <b>Владеть:</b> применением термодинамического аппарата к решению различных задач грунтоведения и инженерной геологии в целом; специальными прикладными программами по термодинамическим расчетам и методам термодинамического моделирования.
<b>СПК-3.М(2).</b> Способен анализировать, обобщать и систематизировать результаты инженерно-геологических исследований и изысканий в соответствии с поставленными задачами и действующими нормативными документами		<b>М-СПК-3.М(2).</b> Обобщает и систематизирует результаты инженерно-геологических исследований и изысканий в соответствии с поставленными задачами и действующими нормативными документами	<b>Знать:</b> методы термодинамики, применяемые при инженерно-геологических исследованиях. <b>Уметь:</b> получать обобщенные инженерно-геологические знания на основе термодинамики.

**4. Объем дисциплины (модуля)** составляет **3** з.е., в том числе **39** академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем (лекции, практические занятия вместе), **69** академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – зачет

**5. Формат обучения** не предполагает электронного обучения и использования дистанционных образовательных технологий (за исключением форс-мажорных обстоятельств – пандемии и т.п.)

**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	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем)	Самостоятельная работа обучающегося. <i>Виды</i>

аттестации по дисциплине (модулю)		Виды контактной работы, часы			самостоятельной работы, часы		
		Занятия лекционного типа	Практические занятия	Всего	Обработка практических занятий	Работа с литературой	Всего
Введение	21	5	2	7	7	7	14
Методологические основы термодинамики грунтов	21	5	2	7	7	7	14
Термодинамика состава и структуры грунтов	21	5	2	7	7	7	14
Термодинамика процессов переноса в грунтах	23	6	3	9	7	7	14
Термодинамика физико- механических процессов в грунтах	20	5	2	7	7	6	13
Промежуточная аттестация <i>зачет</i>	2	2					
<b>Итого</b>	<b>108</b>	<b>39</b>			<b>69</b>		

## Содержание разделов дисциплины

### Лекции:

**Введение** Проблема энергетики процессов геологической среды. Грунты и их массивы как термодинамические системы.

История применения методов термодинамики в геологии. Современное состояние применения термодинамики в инженерной геологии: методы термодинамики в грунтоведении, технической мелиорации пород, механике грунтов, инженерной геодинамике, региональной инженерной геологии.

Объект и задача термодинамики грунтов. Методологические основы термодинамики грунтов. Роль и задачи термодинамики грунтов при решении инженерных и эколого-геологических проблем. Связь термодинамики грунтов с инженерно-геологическими дисциплинами, геофизиологией, гидрогеологией, почвоведением, физической и коллоидной химией и т.д.

### **1. Методологические основы термодинамики грунтов**

Основные понятия и определения. Термодинамическая система и геологическая среда. Виды инженерно-геологических термодинамических систем; изолированная, неизолированная, закрытая, открытая, гомогенная, гетерогенная. Фазы и компоненты систем.

Количественное содержание компонентов, примеры различных шкал компонентов. Обобщенные координаты и обобщенные потенциалы инженерно-геологических систем. Закон сохранения обобщенных координат.

Взаимодействие между объектами инженерно-геологических систем. Поля плотностей обобщенных потенциалов; однородное поле, неоднородное, стационарное, нестационарное. Движущие силы процессов. Понятие обобщенной работы. Виды работ в инженерно-геологических системах.

Законы термодинамики и их применение в инженерной геологии. Первый закон, термодинамики. Внутренняя энергия инженерно-геологической системы. Второй закон термодинамики. Понятие энтропии, направленность процессов в инженерно-геологической системе. Третий закон термодинамики.

Метод термодинамических потенциалов и его применение в инженерной геологии. Свободная энергия Гельмгольца, энтальпия, энергия Гиббса. Соотношения взаимности Максвелла. Условия равновесия инженерно-геологической системы.

Основы применения теории неравновесной термодинамики в инженерной геологии. Баланс обобщенных координат, их источники и стоки. Производство энтропии. Линейное соотношение потоков и сил. Соотношения взаимности Онзагера. Особенности применения термодинамики при изучении инженерно-геологических систем разных иерархических уровней.

## **2. Термодинамика состава и структуры грунтов**

Термодинамика фазового и компонентного состава грунтов. Термодинамика твердых, жидких, газовых фаз. Треугольная диаграмма фазового состава грунта. Применение правила фаз Гиббса к грунтам; особенности фазовых составов основных типов грунтов. Термодинамические закономерности поверхностей раздела в грунтах.

Термодинамика воды в грунтах. Термодинамический потенциал воды в грунте. Методы его определения. Закономерности формирования потенциала влаги в грунтах. Термодинамика гидратации-дегидратации. Взаимосвязь фазового состава, структуры грунтов и содержания в них энергетических форм воды.

Термодинамика растворимости компонентов грунта, газов, твердых компонентов. Константа равновесия растворимости. Произведение растворимости. Математическое моделирование растворения в грунтах с помощью ЭВМ.

Термодинамика ионного обмена в грунтах. Константа обмена. Уравнения ионного обмена. Определение направленности реакций ионного обмена в грунте. Моделирование на основе термодинамики состава и массообмена компонентов грунта с помощью ЭВМ.

Структура грунта, как отражение термодинамических условий его образования. Термодинамика структурных связей. Влияние термодинамических факторов, на процессы структурообразования.

## **3. Термодинамика процессов переноса в грунтах**

Теплоперенос в немерзлых грунтах. Калорические и теплофизические свойства грунтов. Температурные и тепловые поля немерзлых грунтов. Закономерности теплопереноса. Закон теплопроводности, краевые условия. Критерии подобия в теплопереносе. Моделирование теплообмена и методы расчёта основных параметров тепловых процессов в грунтах с помощью ЭВМ.

Термодинамика массопереноса в грунтах. Изотермический и неизотермический влагоперенос в ненасыщенных дисперсных грунтах. Коэффициенты влагопереноса, влагопроводности, паропроводности, диффузивности, термовлагопереноса и др. и методы их определения в грунтах. Термодинамика диффузии и осмоса в грунтах. Молекулярная термо- и бародиффузия солей. Эффективный коэффициент диффузии. Математическое моделирование диффузионного равновесия в грунтах.

Термодинамика электропроводности и электрокинетических процессов в грунтах. Взаимосвязь электрокинетических явлений и их характеристика на основе неравновесной термодинамики. Электрокинетические коэффициенты и методы их определения.

## **4. Термодинамика физико-механических процессов в грунтах**

Термодинамика упругого и неупругого деформирования. Работа и мощность деформирования. Методы оценки энергетических параметров деформирования. Термодинамика одномерной сжимаемости грунтов. Термодинамика просадочности лессов.

Термодинамика реологических процессов в грунтах. Кинетические и термодинамические закономерности ползучести и релаксации. Влажно-температурно-временная аналогия. Термокинетические закономерности ползучести грунтов.

Термодинамика прочности и разрушения. Энергетические проблемы и теории прочности. Температурно-временная зависимость прочности. Критерии разрушения. Термодинамические критерии прочности и методы их определения в грунтах. Термокинетическая теория прочности грунтов. Прогноз прочности грунтов для различных термодинамических условий.

## **Содержание практических занятий**

Освоение данного курса целесообразно проводить с использованием мультимедийных презентаций (для лекций), а также в форме выполнения еженедельных индивидуальных заданий.

Самостоятельная подготовка студентов к выполнению заданий и итоговому зачету проводится с использованием рекомендуемой литературы и возможностей Интернета.

На практических занятиях в дисплейном классе студенты выполняют расчетные задачи по термодинамике грунтов.

### **Практические занятия:**

Задача 1. Расчет и компьютерное моделирование равновесий растворимости в грунтах.

Задача 2. Расчет и компьютерное моделирование ионного обмена в грунтах.

Задача 3. Расчет на компьютере коэффициентов диффузии ионов в грунтах.

Задача 4. Расчет и компьютерное моделирование диффузионного равновесия солей в ненасыщенных грунтах.

Задача 5. Компьютерное моделирование влагопереноса в ненасыщенных грунтах.

Задача 6. Расчет на компьютере параметров термовлагопереноса в грунтах.

Задача 7. Расчеты на компьютере термокинетических параметров прочности грунтов и прогноз длительной прочности.

**Рекомендуемые темы рефератов:** конспект монографии по читаемому курсу

## **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 задач.

#### ***Примерный перечень вопросов для текущего контроля успеваемости и***

1. В чем состоит проблема оценки энергетики геологических процессов?
2. Что такое термодинамическая система?
3. Какова история применения термодинамики в геологии? В инженерной геологии?
4. Что является объектом и предметом исследования термодинамики грунтов?
5. Охарактеризуйте виды термодинамических систем в инженерной геологии.
6. Как характеризуются фазы и компоненты систем?
7. Что такое обобщенные координаты?
8. Что такое обобщенные термодинамические потенциалы?
9. Как осуществляется термодинамическое взаимодействие между объектами термодинамических инженерно-геологических систем?
10. Каковы движущие силы процессов в грунтах?
11. Приведите понятие обобщенной работы в инженерно-геологической системе.
12. Каковы виды работ в инженерно-геологических системах?
13. Назовите первый закон термодинамики и охарактеризуйте его применение в инженерной геологии.
14. Назовите второй закон термодинамики и охарактеризуйте его применение в инженерной геологии.
15. В чем состоит метод термодинамических потенциалов?
16. Каково значение соотношений взаимности Максвелла?
17. Сформулируйте условия равновесия термодинамической инженерно-геологической системы.
18. В чем состоит идея применения теории неравновесной термодинамики в инженерной геологии?
19. В чем состоит баланс обобщенных координат, их источников и стоков?
20. Сформулируйте закон линейного соотношения потоков и сил.

21. Охарактеризуйте соотношения взаимности Онзагера.
22. Каковы особенности применения термодинамики при изучении инженерно-геологических систем разных иерархических уровней?
23. Каковы свойства треугольной диаграммы Гиббса применительно к анализу фазового состава грунта?
24. Каковы основные закономерности термодинамики воды в грунтах?
25. Что такое термодинамический потенциал воды в грунте?
26. Укажите основные закономерности термодинамики растворимости компонентов грунта, газов, твердых компонентов.
27. В чем состоит термодинамика ионного обмена в грунтах?
28. Каково влияние термодинамических факторов, на процессы структурообразования грунтов?
29. Охарактеризуйте закономерности теплопереноса в грунтах.
30. Каковы закономерности термодинамики диффузии и осмоса в грунтах?
31. Сформулируйте основные закономерности термодинамики упругого и неупругого деформирования.
32. В чем состоит термодинамика реологических процессов в грунтах?
33. В чем состоит термодинамика прочности и разрушения грунтов?
34. Каковы основные положения термокинетической теории прочности грунтов?

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

*Примерный перечень вопросов при промежуточной аттестации (зачет):*

1. Проблема оценки энергетики геологических процессов.
2. Понятие о термодинамической системе
3. История применения термодинамики в геологии и в инженерной геологии.
4. Объект и предмет исследования термодинамики грунтов.
5. Виды термодинамических систем в инженерной геологии.
6. Фазы и компоненты систем.
7. Понятие о обобщенных координатах.
8. Понятие о обобщенных термодинамических потенциалах.
9. Термодинамическое взаимодействие между объектами термодинамических инженерно-геологических систем.
10. Движущие силы процессов в грунтах.
11. Понятие обобщенной работы в инженерно-геологической системе.
12. Виды работ в инженерно-геологических системах.
13. Первый закон термодинамики и его применение в инженерной геологии.
14. Второй закон термодинамики и его применение в инженерной геологии.
15. Понятие о методе термодинамических потенциалов.
16. Значение соотношений взаимности Максвелла.
17. Условия равновесия термодинамической инженерно-геологической системы
18. Идея применения теории неравновесной термодинамики в инженерной геологии.
19. Понятие о балансе обобщенных координат, их источников и стоков.
20. Закон линейного соотношения потоков и сил.
21. Соотношения взаимности Онзагера.
22. Особенности применения термодинамики при изучении инженерно-геологических систем разных иерархических уровней.
23. Свойства треугольной диаграммы Гиббса применительно к анализу фазового состава грунта.
24. Основные закономерности термодинамики воды в грунтах.
25. Термодинамический потенциал воды в грунте.
26. Основные закономерности термодинамики растворимости компонентов грунта, газов, твердых компонентов.



27. Термодинамика ионного обмена в грунтах.
28. Влияние термодинамических факторов, на процессы структурообразования грунтов.
29. Закономерности теплопереноса в грунтах.
30. Закономерности термодинамики диффузии и осмоса в грунтах.
31. Основные закономерности термодинамики упругого и неупругого деформирования.
32. Термодинамика реологических процессов в грунтах.
33. Термодинамика прочности и разрушения грунтов.
34. Основные положения термокинетической теории прочности грунтов.

#### Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

Оценка результатов обучения, соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет
<b>Знания:</b> основ термодинамики грунтов и методов термодинамики (устный опрос)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
<b>Умения:</b> применять методы термодинамики для анализа состава, строения и свойств грунтов, использовать термодинамические модели (результаты практических работ)	В целом успешное, но не систематическое умение или отсутствие умений	Успешное и систематическое умение или в целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)
<b>Владения:</b> методами термодинамики для анализа состава, строения и свойств грунтов (устный опрос)	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме

#### 8. Ресурсное обеспечение:

##### А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- **основная литература** (имеется в библиотеке МГУ):

*Королёв В. А.* Термодинамика грунтов / Учебник. – М.: ООО "Сам полиграфист", 2016.– 258 с.

- **дополнительная литература** (имеется в библиотеке МГУ):

*Базаров И.П.* Термодинамика. М.: Высш. шк. 1983. – 344 с.

*Булатов Н.К., Лундин А.Б.* Термодинамика необратимых физико-химических процессов. – М.: Химия, 1984. – 336 с.

*Булах А.Г.* Методы термодинамики в минералогии.– Л.: Недра, 1974.–184 с.

*Дмитриев А.П., Гончаров С.А.* Термодинамические процессы в горных породах. М.: Недра, 1983. – 312 с.

##### Б) Перечень программного обеспечения:

- **лицензионное** – не требуется.

- **нелицензионное и свободного доступа:**

пакет программ Open Office, любые свободно распространяющиеся программы, требующиеся для освоения дисциплины; специальные авторские программы для компьютера по термодинамическим расчетам состава, состояния, свойств и процессов в грунтах (7 программ по числу задач, изложены в вышеприведенном учебнике). Для работы этих программ необходимы пользовательские программы Basic или TurboBasic.

**В) Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

- реферативная база данных издательства Elsevier: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

- Базы, реестры, справочники (свободный доступ, подписки)

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

- поисковая система научной информации [www.scopus.com](http://www.scopus.com)

- электронная база научных публикаций [www.webofscience.com](http://www.webofscience.com)

**Д) Материально-техническое обеспечение:** учебные аудитории для лекций и практических занятий; мультимедийный проектор с компьютером; для проведения расчетов необходим компьютерный класс - компьютеры для каждого студента и набор авторских программ.

**9. Язык преподавания** – русский.

**10. Преподаватель:** Ответственный за курс – профессор кафедры инженерной и экологической геологии Королев Владимир Александрович.

**11. Разработчик программы** – профессор кафедры инженерной и экологической геологии Королев Владимир Александрович