

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан географического факультета,
академик РАН Добролюбов С.А.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ЛАНДШАФТОВЕДЕНИИ

Уровень высшего образования:
магистратура

Направление подготовки:
05.04.02 «География»

Направленность (профиль) ОПОП:
«Физическая география и ландшафтоведение»

Форма обучения:
очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методической комиссией географического факультета
(протокол №_10_ дата_27 октября 2021 г. _)

Москва 2021

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 «География» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемым последовательно по схеме интегрированной подготовки*).

ОС МГУ утвержден решением Ученого совета МГУ имени М.В. Ломоносова (приказ по МГУ № 1383 от 30 декабря 2020 года).

Год (годы) приема на обучение: 2021

© Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова
Программа не может быть использована без разрешения факультета.

1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП — относится к вариативной части ОПОП, является дисциплиной по выбору.
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия: базируется на знаниях по курсам «Математика», «Физика», «Основы математической статистики и численного моделирования», «Ландшафтоведение», «Физико-математические основы ландшафтоведения»
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
<p>МПК-1 (<i>формируется частично</i>) Способен анализировать и оценивать современные теоретические и методологические проблемы физической географии, землеведения, ландшафтоведения и ландшафтной экологии и использовать фундаментальные представления в сфере профессиональной деятельности.</p>	<p>МПК-1.1.Анализирует и оценивает современные теоретические и методологические проблемы ландшафтоведения и ландшафтной экологии.</p>	<p>Знать: сферы и проблемы применения термодинамики в основных разделах физической географии и ландшафтоведения; тенденции развития термодинамики Уметь: формулировать цели исследования и термодинамическую систему Владеть: методологическими основами и подходами термодинамики к решению теоретических проблем физической географии и ландшафтоведения, теоретическими концепциями термодинамики.</p>
<p>МПК-2 (<i>формируется частично</i>) Владеет теоретическими знаниями и методами изучения потоков вещества, энергии и информации в ландшафте, методами пространственного анализа, моделирования процессов и структуры ландшафта и способен применять их на практике.</p>	<p>МПК-2.1.Знает и использует методы изучения потоков вещества, энергии и информации в ландшафте, методы моделирования процессов и структуры ландшафта.</p>	<p>Знать: фундаментальные положения классической равновесной и неравновесной термодинамики Уметь: выбирать адекватный задаче термодинамический метод анализа Владеть: навыками сопряженного анализа различной физико-географической и термодинамической информации</p>

4. Объем дисциплины (модуля) 2 з.е., в том числе 28 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 44 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.
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 или астрономических 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								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) <i>Виды контактной работы, часы*</i>					Самостоятельная работа обучающегося <i>Виды самостоятельной работы, часы</i>			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Всего	Работа с литературой (включая подготовку доклада)	Подготовка реферата	Всего	
Тема 1. Введение. Термодинамическая система.	1	1				1				
Тема 2. Энтропия и начала термодинамики.	9	1	2			3	4	2	6	
Тема 3. Параметры и функции состояния. Термодинамические потенциалы	7	1	2			3	4		4	
Тема 4. Термодинамический потенциал Гиббса. Уравнение Гиббса-Дюгема. Правило фаз	9	1	2			3	2	4	6	
Текущая аттестация 1: доклад с презентацией	4		2			2	2		2	
Тема 5. Термодинамика воды в почве	7	1	2			3	2	2	4	
Тема 6. Физико-химическая термодинамика почв	7	1				1	4	2	6	
Тема 7. Термодинамика приземной атмосферы	4	2				2	2		2	
Текущая аттестация 2: защита реферата	4		2			2		2	2	
Тема 8. Физическая химия природных вод.	6	2				2	2	2	4	
Тема 9. Неравновесная термодинамика. Скорость производства энтропии.	4	2				2	2		2	
Тема 10. Билинейное соотношение Онзагера и моделирование ландшафтов	6	2	2			4	2		2	
Промежуточная аттестация зачет	4	<i>Устный зачет</i>						4		
Итого	72	28						44		

Содержание лекций, семинаров

Содержание лекций

Тема 1. Введение. Изолированные, закрытые и открытые системы. Термодинамическая система (ТС), фазы и компоненты ТС. Параметры и функции состояния ТС. Фундаментальный параметр – температура. Соотношение температуры и давления, газовые законы Бойля-Мариотта и Шарля-Гей-Люссака, абсолютная термодинамическая шкала температур Кельвина. Уравнение состояния идеального газа. Работа и теплота. Внутренняя энергия. Первое начало термодинамики в виде баланса внутренней энергии. Понятия изохорического, изобарического, изотермического, адиабатического процессов и удельная теплоемкость.

Тема 2. Энтропия и начала термодинамики. Введение энтропии в виде полного дифференциала методом интегрирующего множителя. Первое начало термодинамики - полный дифференциал внутренней энергии. Расчет энтропии при изобарическом, изохорическом и изотермическом процессах. Поступление тепла в систему в процессах фазовых переходов и в процессе роста температуры всегда приводит к росту энтропии – «стрела времени». Энтропия растет при увеличении беспорядка системы от состояния идеального кристалла с максимально возможным порядком при 0°К. Второе начало термодинамики. Физический смысл энтропии. Внутренняя энергия является мерой способности системы к совершению работы, энтропия является мерой «обесценивания» этой способности. Статистический подход к понятию энтропии.

Тема 3. Параметры и функции состояния ТС. Экстенсивные параметры простых термодинамических систем, обладающие свойством аддитивности: энтропия (S), объем (V) и массы компонентов (m). Интенсивные параметры, не зависящие от массы или числа частиц системы: температура (T), давление (p) и химические потенциалы компонентов (μ). Уравнения связи (работы) экстенсивных и интенсивных параметров. Потенциал, градиент потенциала. Преобразование Лежандра и термодинамические потенциалы: внутренняя энергия – термодинамический потенциал изохоро-изоэнтروпической системы $U=f(S, V, m_a...m_k)$; свободная энергия Гельмгольца – термодинамический потенциал изохоро-изотермической системы $F=f(T, V, m_a...m_k)$; энтальпия – термодинамический потенциал изобаро-изоэнтропической системы $H = f(S, p, m_a...m_k)$; потенциал Гиббса – термодинамический потенциал изотермо-изобарической системы $G=f(T, p, m_a...m_k)$. Условие равновесия изотермо-изобарической системы - минимум термодинамического потенциала: $G=f(T, p, m_a...m_k)=\min$, $dG=0$ и $d^2G>0$ для чего в гетерогенной системе должно выполняться условие равенства химических потенциалов по всем фазам. Функция dG изменения свободной энергии Гиббса характеризует максимальную работу химических процессов.

Тема 4. Критерии термодинамического равновесия системы. Уравнение Гиббса-Дюгема, правило фаз Гиббса. Парциальные характеристики и стандартные состояния. Коэффициенты фугитивности реальных газов и активности растворенных компонентов. Закон действующих масс и термодинамическая константа равновесия реакции образования. Стандартная молярная энергия Гиббса образования одного моля соединения, находящегося в стандартных условиях, из образующих его простых веществ в стандартных условиях.

Тема 5. Термодинамика воды в почве. Почва как термодинамическая система, состоящая из трех компонентов: твердой фазы почвы, почвенной воды и почвенного воздуха. Формы почвенной воды и их характеристики. Тензиометрический метод определения отрицательной величины давления влаги в почве. Давление воды в ненасыщенных почвах при взаимодействии капиллярных, поверхностных и осмотических сил, а также давления заземленного воздуха. Обоснование описания потенциала всасывания влаги термодинамическим

потенциалом Гиббса. Размерность потенциала почвенной влаги. Методы определения потенциала (давления) влаги в почве: психрометрический метод, гигроскопический метод, метод сорбционного равновесия над растворами солей. Изотермически равновесная зависимость капиллярно-сорбционного давления почвенной влаги от влажности почвы - основная гидрофизическая характеристика почв. Уравнение вертикального переноса влаги в ненасыщенной почве – уравнение Ричардса. Гидравлическая проводимость и диффузивность влаги как функции капиллярно-сорбционного давления почвенной влаги и основной гидрофизической характеристики почв

Тема 6. Физико-химическая термодинамика почв. Введение в методы физико-химической петрологии. Построение диаграмм состояния, типы диаграмм. Одно-, двух-, трехкомпонентные диаграммы. Диаграммы «состав – парагенезис (равновесие фаз)».

Принцип частичного равновесия: новообразованные продукты почвообразования и вторичные минералы, которые могут подчиняться принципам устойчивого, частичного или временного равновесия. Моделирование химических равновесий в сложных многокомпонентных, многофазных системах с участием водного раствора электролита, конденсированных фаз (однокомпонентных и твердых растворов), газовой смеси и других фаз различного агрегатного состояния на основе задачи минимизации свободной энергии Гиббса.

Равновесия в гетерогенных многофазных системах. Поверхностные свойства на границах фаз гетерогенных дисперсных систем. Межфазное поверхностное натяжение, полная удельная поверхностная энергия и адсорбционное уравнение Гиббса. Адсорбция твердое тело – газ, изотерма адсорбции Ленгмюра. Адсорбция из растворов, обменная адсорбция, изотерма адсорбции Генри,

Тема 7. Термодинамика приземной атмосферы. Уравнение состояния атмосферного воздуха. Сухой и влажный воздух. Давление и плотность воздуха. Изотермическое и адиабатическое приближение. Градиент температуры при сухоадиабатическом и влажно-адиабатическом процессе. Образование фёна в горных долинах. Устойчивость атмосферы, конвекция, инверсия в нижних слоях.

Тема 8. Физическая химия природных растворов. Взаимодействие растворенных веществ, термодинамическая константа равновесия. Диссоциация воды. Расчет равновесия реакций в растворах карбоната кальция с водой в открытой к CO_2 системе. Осмотический потенциал, химическая работа смешения, законы Рауля и Вант-Гоффа для разбавленных растворов. Природные растворы, теория Дебая-Хюккеля. Мембранный потенциал и электрохимические ячейки, уравнение Нернста. Электродные процессы, ионоселективные электроды.

Тема 9. Неравновесная термодинамика. Скорость производства энтропии. Понятие локального равновесия и теория поля. Полное изменение энтропии в системе при взаимодействии с окружающей средой. Уравнение скорости производства энтропии в необратимом процессе переноса тепла. Уравнения возрастания и скорости производства энтропии в изохорно-изоэнтропической, в изохорно-изотермической, изобарно-изотермической системах, выраженные через термодинамические потенциалы. Фундаментальное соотношение необратимой термодинамики – уравнение связи скорости производства энтропии с действующими потоками и силами. Условие стационарности состояния неравновесных систем – принцип минимума производства энтропии: стационарное состояние системы, в которой происходит необратимый процесс, характеризуется минимальным значением скорости возникновения энтропии при данных внешних условиях, препятствующих достижению системой равновесного состояния

Тема 10. Билинейное соотношение Онзагера и моделирование ландшафтов. Закон линейных соотношений – линейная зависимость любого потока (потока тепла, потока вещества и т. д.) от вызывающих его действующих сил (от градиента температуры, градиентов химических потенциалов и т. д.). Аддитивности потоков в системе, где осуществляется несколько потоков (тепла, вещества и т. д.), если действующие силы выражены в соответствии с уравнением скорости возрастания энтропии. Принцип взаимности Онзагера – всегда

существует явление «перекрестное» данному, причем при соответствующем выборе потоков и сил матрица кинетических коэффициентов симметрична. Любые природные явления, объекты и процессы могут дифференцироваться по определяющим потокам, по градиентам потенциалов, по величинам феноменологических коэффициентов, либо по тем и другим одновременно. Функциональный подход – выделение геосистем по определяющим геофизическим полям и их градиентам. Выделение геосистем по потокам элементарных объемов воды в поле геопотенциала – иерархия водосборных геосистем. Выделение геосистем по принципу резкого изменения кинетических феноменологических коэффициентов (по принципу однородности природно-территориальных комплексов) – выделение фаций, урочищ, ландшафтов – иерархии ПТК

План проведения семинаров

1. Работа и теплота. Внутренняя энергия. Первое начало термодинамики в виде баланса внутренней энергии
2. Метод интегрирующего множителя. Второе начало термодинамики, физический смысл энтропии. Энтропия – мера «обесценивания» способности системы к совершению работы, «стрела времени»
3. Вывод термодинамических потенциалов. Свободная энергия Гиббса. Условия равновесия изотермо-изобарической системы
4. Доклады студентов по рефератам (с презентацией): «Полный потенциал влаги в почве, лабораторные и полевые методы его определения», «Основная гидрофизическая характеристика почвы: методы получения и ОГХ различных почв»
5. Уравнение Гиббса-Дюгема. Парциальные характеристики и стандартные состояния. Закон действующих масс и термодинамическая константа равновесия реакции образования.
6. Доклады студентов по темам рефератов (с презентацией). «Расчет карбонатного равновесия в системе почва – природные воды - атмосфера по реакциям», «Моделирование в почвах химических равновесий минералов с водным раствором электролита и газовой смеси методом минимизации свободной энергии Гиббса», «Уравнение Нернста и ионоселективные электроды».
7. Билинейное уравнение Онзагера и принципы моделирования геосистем

7. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю):

Текущая аттестация №1: доклад с презентацией

Примерный перечень тем для докладов

1. Второе начало термодинамики, физический смысл энтропии. Статистический подход к понятию энтропии
2. Вывод термодинамических потенциалов. Свободная энергия Гиббса. Условия равновесия изотермо-изобарической системы
3. Уравнение Гиббса-Дюгема. Парциальные характеристики и стандартные состояния. Определение термодинамических потенциалов
4. Закон действующих масс и термодинамическая константа равновесия реакции образования.

Текущая аттестация №2: защита рефератов

Примерный перечень тем для рефератов

1. Полный потенциал влаги в почве, лабораторные и полевые методы его определения
2. Основная гидрофизическая характеристика почвы: методы получения и ОГХ различных почв
3. Расчет карбонатного равновесия в системе почва – природные воды - атмосфера по реакциям
4. Моделирование в почвах химических равновесий минералов с водным раствором электролита и газовой смеси методом минимизации свободной энергии Гиббса.
5. Теория стеклянных электродов и их применение в аналитической химии и экологии.
6. Уравнение Нернста и ионоселективные электроды.
7. Энергетический баланс критической зоны (зоны гипергенеза).
8. Ионный обмен в почве – теории и методы исследования
9. Экспериментальные методы изучения процессов выветривания в зоне гипергенеза
10. Термодинамические аналогии и модели в геоморфологии

Примерный перечень вопросов для зачета

1. Понятие термодинамической системы. Параметры и функции состояния ТС
2. Газовые законы, термодинамическая шкала температур Кельвина.
3. Уравнение состояния идеального газа
4. Теплота и работа, баланс энергии – первое начало термодинамики,
5. Энтропия и первое начало термодинамики в виде полного дифференциала внутренней энергии
6. Второе начало термодинамики. Методы расчета и физический смысл энтропии
7. Экстенсивные, интенсивные параметры простых термодинамических систем и уравнения их связи
8. Термодинамические потенциалы – вывод и физический смысл
9. Потенциал Гиббса и условие равновесия изотермо-изобарического системы
10. Уравнение Гиббса-Дюгема, парциальные характеристики и стандартные состояния, стандартная молярная энергия Гиббса.
11. Закон действующих масс и термодинамическая константа равновесия реакции образования
12. Термодинамика воды в почве, методы определения потенциала влаги в почве
13. Основная гидрофизическая характеристика почв, значение и методы определения
14. Гидравлическая проводимость и диффузивность влаги функции давления почвенной влаги, уравнение Ричардса.
15. Принцип частичного (локального) термодинамического равновесия и его значение для физико-химического моделирования почв
16. Поверхностные свойства на границах фаз гетерогенных дисперсных систем
17. Адсорбция твердое тело – газ, изотерма адсорбции Ленгмюра. Адсорбция из растворов, изотерма адсорбции Генри
18. Уравнение состояния атмосферного воздуха, изотермическое и адиабатическое приближение
19. Сухоадиабатическом и влажно-адиабатическом процесс, устойчивость атмосферы, конвекция, инверсия в нижних слоях
20. Расчет равновесия реакций в растворах карбоната кальция с водой в открытой к CO₂ системе.
21. Осмотический потенциал, химическая работа смешения, законы Рауля и Вант-Гоффа для разбавленных растворов.

22. Мембранный потенциал и электрохимические ячейки, уравнение Нернста. Электродные процессы, ионоселективные электроды
23. Основные уравнения неравновесной термодинамики – уравнения возрастания и скорости производства энтропии. Условие стационарности состояния неравновесных систем
24. Билинейное уравнение и соотношение Онзагера и моделирование геосистем

Шкала и критерии оценивания

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины – устный зачет

Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет
Знания (виды оценочных средств: устный опрос, реферат)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
Умения (виды оценочных средств: устный опрос, реферат)	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 не принципиального характера)
Навыки (владения, опыт деятельности) (виды оценочных средств: устный опрос, реферат)	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков, отсутствие реферата и его защиты	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме

8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная учебная литература:

1. Сысуев В.В. Введение в физико-математическую теорию геосистем. М.: ЛЕНАНД/URSS. 2020. – 600 с.
2. Жариков В. А. Основы физической геохимии. М.: Изд-во МГУ, 2002. 548 с.
3. Пригожин И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур. М.: Мир, 2002. 461 с.
4. Шеин Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
5. Шоба В. Н., Карпов И. К. Физико-химическое моделирование в почвоведении. Новосибирск, 2004. 180 с.

Дополнительная литература:

1. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л., Растворы, минералы, равновесия. М.: Изд-во "МИР", 1968
2. Глобус А.М. Почвенно-гидрофизическое обеспечение агроэкологических математических моделей. Л: Гидрометеиздат, 1987, 428 с.

3. Карпов И.К., Кашик С.А., Пампура В.Д. Константы веществ для термодинамических расчетов в геохимии и петрологии. М.: Наука, 1968, 143 с.
4. Савенко В.С., Савенко А.В. Экспериментальные методы изучения низкотемпературных геохимических процессов. М.: ГЕОС, 2009, 303 с.
5. Спозито Г. Термодинамика почвенных растворов. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 240 с.
6. Трухин В.И., Показеев К.В., Куницын В.Е. Общая и экологическая геофизика. М.: Физматлит. 2005. 576 с.
7. Фен. Дж. Машины, энергия, энтропия. М.: Мир, 1986. 336 с.
8. Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р. Физика процессов эволюции. М., изд-во УРСС, 2001.
9. Jorgensen S.E., Svirezhev Y.M. Towards a thermodynamic theory for ecological systems. Elsevier, 2004. 369 p.

- Перечень лицензионного программного обеспечения
Не требуется

- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем
- реферативная база данных издательства Elsevier: www.sciencedirect.com

- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)
- поисковая система научной информации www.scopus.com
- электронная база научных публикаций www.webofscience.com

- Описание материально-технической базы
Учебная аудитория с мультимедийным проектором
Персональные компьютеры

9. Язык преподавания: английский
10. Преподаватель (преподаватели): Ответственный за курс — Сысуев Владислав Васильевич, профессор, д.г.н.
11. Разработчики программы: Сысуев Владислав Васильевич, профессор, д.г.н.