

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

УТВЕРЖДАЮ  
Декан географического факультета,  
член-корр. РАН Добролюбов С.А.

---

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**  
**Моделирование изменений окружающей среды**

**Уровень высшего образования:**  
*бакалавриат*

---

**Направление подготовки:**  
**05.03.06 «Экология и природопользование» (бакалавриат)**

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**  
**«Рациональное природопользование»**

---

**Форма обучения:**  
**очная**

---

Рабочая программа рассмотрена и одобрена  
*Учебно-методической комиссией географического факультета*  
(протокол № 12, дата 08.12.2021)

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 «Математике», «Физике», «Геоэкологии», «Основам природопользования», «Развития и преобразования географической среды», «Экономике природопользования», «Статистическим методам в экологии».
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
СПК-3 ( <i>формируется частично</i> ) способен анализировать взаимосвязи в системе «общество-окружающая среда», оценивать геоэкологические последствия ресурсопользования и степень антропогенной преобразованности ландшафтов.	<b>СПК-3.1</b> Анализирует взаимосвязи в системе «общество-окружающая среда»	<p><b>Знать:</b> методологию математического моделирования природных динамических процессов; современные теоретические основы и принципы построения математических моделей; современные методы управления развитием природных систем; роль влияния возмущений на развитие природные системы.</p> <p><b>Уметь:</b> использовать основные идеи системного анализа для принятия решений в условиях неопределенности; оценивать последствия природных и антропогенных воздействий на природные системы; ставить задачи и формулировать выводы на основе математических моделей.</p> <p><b>Владеть:</b> методами построения математических моделей; основами теории иерархических, многоуровневых, многоцелевых систем; критериями оценок устойчивого развития природных систем на локальном, региональном и глобальном уровнях.</p>

4. Объем дисциплины (модуля) 2 з.е., в том числе 36 академических часов на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов 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	Всего	Работа с литературой (включая подготовку доклада с презентацией, выступление на семинаре. дискуссию)	Подготовка реферата	Всего
Тема 1. Основы методологии моделирования природных систем. Применение математических методов в эколого–географических исследованиях	8		4	4	4		4
Тема 2. Методология построения моделей глобального развития. Исследование мировых процессов по методике Форрестера. Анализ решения уравнений модели Форрестера.	7		4	4	3		3
Тема 3. Проекты, выполненные под эгидой «Римского клуба». Сценарии, ведущие к глобальному равновесию мировой системы	7		4	4	3		3

Тема 4. Применение системного анализа в исследовании. природных систем. Теория систем и системный подход в физико-географических исследованиях	<b>8</b>		4	<b>4</b>	4		<b>4</b>
Тема 5. Применение экспертной оценки в системном анализе. Применение теории игр для выбора.	<b>8</b>		4	<b>4</b>		4	<b>4</b>
Тема 6. Многоуровневые иерархические многоцелевые системы. Применение системного анализа на локальном уровне (на примере модели КРИМС).	<b>6</b>		4	<b>4</b>	2		<b>2</b>
Тема 7. Устойчивость природных систем к антропогенным и природным воздействиям Методологические аспекты изучения проблемы устойчивости экосистемы	<b>7</b>		4	<b>4</b>	3		<b>3</b>
Тема 8. Использование классических методов исследования устойчивости. Анализ различия между математической устойчивостью по Ляпунову и экологической устойчивостью	<b>4</b>		4	<b>4</b>			
Текущая аттестация 1: защита реферата	<b>14</b>		4	<b>4</b>	5	5	<b>10</b>
	<b>69</b>		<b>36</b>		<b>33</b>		
Промежуточная аттестация		<i>Устный зачет</i>			<b>3</b>		
<b>Итого</b>	<b>72</b>		<b>36</b>		<b>36</b>		

## Содержание лекций, семинаров

### План проведения семинаров

- Обсуждение: основные характерные черты моделирования. Применение математических методов в эколого – географических исследованиях. Роль математических методов в разных областях науки. Научный метод - циклический процесс получения знаний из опыта. Роль гипотезы в научных исследованиях.
- Обсуждение: методика построения математических моделей для описания взаимодействия компонентов природной системы. Модель-теория-закон. Разные определения понятия «модель». Психологический аспект экспоненциального роста.

*Доклады студентов (с презентацией).*

3. Обсуждение: методология построения моделей глобального развития. Исследование мировых процессов по методике Форрестера. Анализ решения уравнений модели Форрестера. Математическое моделирование – способ количественной оценки деградации природных систем.

*Доклады студентов (с презентацией).*

4. Обсуждение: проекты, выполненные под эгидой «Римского клуба». Сценарии, ведущие к глобальному равновесию мировой системы. Проверка модели на непротиворечивость и адекватность. Построение блок – схемы эколого – географических исследований.

*Доклады студентов (с презентацией).*

5. Обсуждение: применение системного анализа в исследовании природных систем. Теория систем и системный подход в физико - географических исследованиях. Общая теория систем. Основные идеи системного анализа. Анализ 4-х классов математических моделей эколого – географических исследований.

6. Обсуждение: этапы исследования эколого - географических проблем методом системного анализа. Применение экспертной оценки в системном анализе. Основные принципы создания математических моделей природных систем трех уровней.

*Доклады студентов (с презентацией).*

7. Обсуждение: методы управления природными и антропогенными системами. Трехклассовая классификация экосистем с точки зрения управления. Методика построения математических моделей локального уровня.

8. Обсуждение: применение теории игр к исследованиям природных систем. Применение теории игр для выбора стратегий в области сельскохозяйственной политики. Применение теории игр к строительству противолавинных сооружений. Проекты, выполненные под эгидой Римского клуба.

9. Обсуждение: многоуровневые иерархические многоцелевые системы. Математический анализ мировых моделей. Модельный кризис развития мировой системы. Анализ различных сценариев развития.

10. Обсуждение: применение системного анализа на локальном уровне для оценки последствий сельскохозяйственной активности человека (на примере модели КРИМС). Методология создания «теории систем» по Берталанфи. Примеры использования физических идей и законов в эколого-географических исследованиях. Основные идеи системного анализа.

11. Обсуждение: устойчивость природных систем к антропогенным и природным воздействиям. Введение. Качественный анализ проблемы устойчивости. Методологические аспекты изучения проблемы устойчивости экосистемы. Трехклассовая классификация систем с точки зрения управления. Применение теории игр в исследованиях природных систем.

12. Обсуждение: классификация возможных возмущений, действующих в экосистемах. Многоуровневые иерархические многоцелевые природные системы - примеры.

13. Обсуждение: использование классических методов исследования устойчивости. Качественный и количественный анализ проблемы устойчивости природных систем.

14. Обсуждение: анализ различия между математической устойчивостью по Ляпунову и экологической устойчивостью. Геоэкологические показатели устойчивости: индексы, индикаторы, инварианты.

15. Обсуждение: введение меры (критерия) относительной устойчивости состояний природных экосистем к непрерывно действующим малым возмущениям. Классические методы исследования устойчивости.
16. Обсуждение: энтропийная мера для оценки устойчивости природных экосистем. Устойчивость по Ляпунову.
17. Обсуждение: региональная устойчивость. Проблемы и возможные решения. Катастрофы, «странные аттракторы».
18. Обсуждение: порядок и беспорядок в природных системах. Взаимоотношение между устойчивостью и хаосом. Порядок и хаос в природных системах.
19. Доклады студентов по темам рефератов (с презентацией).

**Примерный перечень заданий для подготовки презентаций и выступлений на семинарах, общих дискуссий и устных опросов:**

1. Анализ понятия «модель». Определение понятия «модель». Основные характерные черты моделирования.
2. Модели, теории, законы. Моделирование – одна из основных категорий теории познания.
3. Представление о природе научного метода.
4. Процесс математического моделирования экологических исследований.
5. Блок – схема математической модели.
6. Анализ возникновения стрессовой ситуации при экспоненциальном росте одного из компонентов системы.
7. Отладка математической модели и ее достоверность. Построение и анализ логистической кривой (уравнение Ферхюльста).
8. Гипотезы, заложенные в построение моделей типа «хищник – жертва».
9. Уравнения Лотки – Вольтерра, Костицина, Колмогорова. (Написать уравнения. Объяснить содержание моделей).
10. Модели глобального развития (общий обзор).
11. Модели Форрестера (общие подходы построения глобальных моделей).
12. Модель «Мир – 3» Медоуза.
13. Модель Месаровича – Пестеля.
14. Латиноамериканская модель Эрреры.
15. Системно – динамический метод Форрестера (этапы моделирования).
16. Сценарные варианты мирового развития по Форрестеру.
17. Основы теории систем.
18. Основные идеи системного анализа
19. Понятие «неопределенность» и его роль в системном анализе.
20. Способы нейтрализации «неопределенностей» в экологических исследованиях.
21. Теория многоуровневых иерархических систем.
22. Применение «теории игр» в экологических исследованиях.
23. Имитационная модель залива Матсалу.

24. Терминологические аспекты понятия «устойчивое развитие».
25. Анализ понятий «устойчивости», данных различными авторами.
26. Классификация возможных возмущений, действующих в экосистемах.
27. Общая формулировка проблемы «устойчивость экосистем».
28. Понятие «стабильности» в экологических исследованиях.
29. «Индексы» и «индикаторы» устойчивого развития.
30. «Критерии» устойчивости экосистем.
31. «Устойчивость по Ляпунову» – использование классических методов исследования устойчивости.
32. Критерий устойчивости экосистем к непрерывно действующим «малым» возмущениям (на примере модели Ферхюльста).
33. Энтропийная мера для оценки устойчивости экосистем.
34. Теория «катастроф» и проблема «риска» в экологических исследованиях.
35. Порядок и хаос в природных системах. Понятия «аттрактор», «бифуркации».

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

Текущая аттестация №1. Защита реферата

*Примерный перечень тем для рефератов*

### ТЕМА 1

1. Основы построения математической модели произвольной природной системы.
2. Процесс создания математических моделей динамических процессов.
3. Математическое моделирование – специальный метод обобщения внутренних закономерностей, свойственных сложным динамическим системам.
4. Математическое моделирование – способ количественной оценки деградации экосистем.
5. Процесс математического моделирования эколого – географических исследований.
6. Общая схема модельного анализа реальной ситуации.
7. Проблемы моделирования локального, регионального и глобального уровней.
8. Построение моделей локального уровня.
9. Построение моделей регионального уровня.
10. Построение моделей глобального уровня.
11. Методика Форрестера как основа создания моделей глобального уровня.
12. Анализ моделей Римского клуба.



## ТЕМА 2

13. Системный анализ – методология решения сложных проблем.
14. Методологические особенности теории систем и системного анализа.
15. Экспертная оценка численных значений параметров для построения математических моделей.
16. Теория игр – математический аппарат для решения конфликтных ситуаций в природных системах.
17. Теория многоуровневых многоцелевых иерархических систем как основа взаимодействия человека с окружающей средой.

## ТЕМА 3

18. Основные проблемы исследования устойчивости природных систем.
19. Критерии устойчивости природных систем к различного рода возмущениям.
20. Различие между математической и экологической устойчивостью природных систем.
21. Анализ устойчивого развития природных систем на основе теории хаоса.

### *Примерный перечень вопросов для зачета*

1. Каковы основные характерные черты моделирования.
2. Опишите процесс математического моделирования эколого-географических исследований.
3. Представьте общую схему модельного анализа оценки антропогенного воздействия на динамику природной системы.
4. Сформулируйте общие проблемы, цели и задачи эколого-географических исследований.
5. Составьте блок-схему математической модели, описывающей закономерности поведения экосистемы в пространстве и во времени.
6. Расскажите об лабораторных экспериментах Гаузе и Лесли и напишите соответствующее экспериментальное математическое уравнение.
7. Опишите методику построения математических уравнений для описания взаимодействия типа «хищник – жертва». Напишите соответствующие уравнения.
8. Раскройте суть гипотез, заложенных в основу уравнений Лотки – Вольтерра, Костицина, Колмогорова.
9. Дайте общий обзор моделей глобального развития общества.
10. Сформулируйте метод «системной динамики» Форрестера.
11. Напишите уравнения и постройте кривые, описывающие кризис во взаимоотношениях человека с окружающей средой на основе модели международной группы под руководством Д. Медоуза.
12. Напишите уравнения и постройте кривые, описывающие кризис во взаимоотношениях человека с окружающей средой на основе «кибернетической модели мира», созданной Месаровичем и Пестелем.
13. Раскройте отличительные черты проектов мирового развития, выполненных под эгидой «Римского клуба».
14. Расскажите о теории систем и основных идеях системного анализа.

15. Перечислите способы нейтрализации «неопределенностей» в экологических исследованиях. Раскройте роль понятия «неопределенность» в системном анализе.
16. Проанализируйте проблемы управления экосистемами на основе теории многоуровневых, многоцелевых, иерархических систем.
17. Раскройте роль применения «теории игр» в эколого – географических исследованиях.
18. Приведите пример применения системного анализа в эколого – экономических исследованиях (имитационная модель экосистемы залива Матсалу (Эстония).
19. Приведите пример применения системного анализа в эколого – экономических исследованиях (математическая модель Обергургл: развитие высокогорных районов Австрии).
20. Расскажите о математических моделях сельскохозяйственной активности человека (включая описание модели CREAMS).
21. Рассмотрите методологические аспекты проблемы устойчивости экосистем.
22. Представьте терминологические аспекты понятия «устойчивое развитие». Сделайте обзор стратегий «устойчивого развития», предлагаемых различными Международными организациями.
23. Сформулируйте «критерии» устойчивости природных систем к разного рода возмущениям (устойчивость по Ляпунову, энтропийная мера, индексы и индикаторы устойчивого развития).
24. Расскажите о теории «катастроф» и проблеме «риска» в экологических исследованиях.
25. Сформулируйте понятия «порядок» и «хаос» в эколого – географических исследованиях. Свяжите проблему «хаоса» с исследованиями метеоролога Лоренца, лауреата Нобелевской премии Пригожина, физика Бернара.

**Промежуточная аттестация** по итогам освоения дисциплины – *зачет* (в устной форме)

### Шкала и критерии оценивания

Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	Незачет	Зачет
<b>Знания</b> (виды оценочных средств: устный опрос, реферат)	Фрагментарные знания или отсутствие знаний	Сформированные систематические знания или общие, но не структурированные знания
<b>Умения</b> (виды оценочных средств: устный опрос, реферат, доклады с презентациями)	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>Навыки (владения, опыт деятельности)</b> (виды оценочных средств)	Наличие отдельных навыков или отсутствие навыков	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач или, в целом, сформированные навыки

средств: устный опрос, выступления на семинарах)		(владения), но используемые не в активной форме
--	--	---

#### 8. Ресурсное обеспечение:

- Перечень основной и дополнительной учебной литературы

1. Гетманчук А. В. Экономико-математические методы и модели: учебное пособие для бакалавров / А. В. Гетманчук, М. М. Ермилов. – М.: Дашков и К, 2017. –186 с.
2. Киселева И. А. Моделирование эколого-экономических систем: учебное пособие / И. А. Киселева. –М.: Евразийский открытый институт, 2011. –117 с.
3. Новоселов А. Л. Модели и методы принятия решений в природопользовании: учебное пособие / А. Л. Новоселов, И. Ю. Новоселова. –М.: Юнити-Дана, 2015. –383 с.
4. Светлосанов В.А. Основы методологии моделирования природных систем: учебное пособие. – М.: Типография «11-й Формат», 2018. – 120 с.
5. Светлосанов В.А. Применение системного анализа в исследованиях природных систем: учебное пособие. – М.: Типография «11-й Формат», 2018. – 75 с.
6. Светлосанов В.А. Устойчивость природных систем к антропогенным и природным воздействиям: учебное пособие. – М.: Типография «11-й Формат», 2018. – 100 с.
7. Тихомиров Н. П. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками: учебное пособие / Н. П. Тихомиров, И. М. Потравный, Т. М. Тихомирова. – М.: Юнити-Дана, 2015. – 350 с.
8. Шелехова Л. В. Методы оптимальных решений: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2017. – 304 с.

#### *Дополнительная литература:*

1. Акулич И. Л. Математическое программирование в примерах и задачах: учебное пособие / И. Л. Акулич. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 352 с.
2. Волкова В. Н. Теория систем и системный анализ: учебник для бакалавров / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – М.: Юрайт, 2013. – 616 с.
3. Гринченко В.Т., Мацыпура В.Т., Снарский А.А. Введение в нелинейную динамику. Хаос и фракталы. – М.: Издат-во ЛКИ, 2007. – 264 с.
4. Управление риском: Риск. Устойчивое развитие. Синергетика.– М.: Наука, 2000. – 431 с.
5. Устойчивость геосистем. Сборник статей АН СССР, ИГАН. – М.: Наука, 1983. –88 с.
6. Уатт К. Экология и управление природными ресурсами: количественный подход. – М.: Мир, 1971. – 463 с.

7. Holling C.S. Resilience and stability of ecological systems// IIASA. Research report Austria, 1973 –23 p.
8. Volterra V. Lecons sur la theorie Mathematique, de la lutte pour la vieV/Paris, Qauthier - Villars, 1931. – 214 p.

- Перечень лицензионного программного обеспечения  
Не требуется

- Нелицензионное ПО  
ПО Microsoft Office

- Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем
  - реферативная база данных издательства Elsevier: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости)
  - поисковая система научной информации [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
  - электронная база научных публикаций [www.webofscience.com](http://www.webofscience.com)
  - Университетская библиотека ONLINE <http://biblioclub.ru>
  - Научная электронная библиотека «eLibrary» <http://elibrary.ru>
  - Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС). Все об ОВОС <http://oboc.narod.ru/ovos.htm>
  - официальный сайт Министерства регионального развития РФ <http://www.minregion.ru>
  - Официальный сайт Римского клуба <http://www.clubofrome.org>
  - Сайт Глобальной сети оценки экологического следа <http://www.footprintnetwork.org>
  - Сайт Портала ЮНЕП по состоянию окружающей среды <http://geodata.grid.unep.ch>
  - Сайт Европейского Агентства по охране окружающей среды <http://www.epa.gov>
  - USGS Global Change Research (USA) <http://geochange.er.usgs.gov/>

- Описание материально-технической базы  
Учебная аудитория с мультимедийным проектором

1. Язык преподавания: русский  
Русский язык

10. Преподаватель (преподаватели): Ответственный за курс — Светлосанов Владимир Анатольевич, в.н.с., д.ф.-м.н., НИЛ снежных лавин и селей; преподаватели: Светлосанов Владимир Анатольевич, в.н.с., д.ф.-м.н., НИЛ снежных лавин и селей.

11. Разработчики программы: Светлосанов Владимир Анатольевич, в.н.с., д.ф.-м.н., НИЛ снежных лавин и селей.