

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Институт биологии и биомедицины

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Фрактальная геометрия в экологии

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

05.04.06 - Экология и природопользование

---

Направленность образовательной программы

Проектно-промышленная экология

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.02 Фрактальная геометрия в экологии относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-2: Способен творчески использовать в научной и производственно-технологической деятельности знания фундаментальных и прикладных разделов специальных дисциплин программы магистратуры	<p>ПК-2.1: Знает: - фундаментальные и прикладные разделов специальных дисциплин программы магистратуры</p> <p>ПК-2.2: Умеет: - творчески использовать знания фундаментальных и прикладных разделов специальных дисциплин программы магистратуры в научной деятельности</p> <p>ПК-2.3: Владеет: - навыками творческого использования знания фундаментальных и прикладных разделов специальных дисциплин программы магистратуры в производственно-технологической деятельности</p>	<p>ПК-2.1: Знает основные применения фрактальной геометрии в экологии</p> <p>ПК-2.2: Умеет использовать методы фрактальной геометрии для решения практических проблем на разных уровнях организации биосистем</p> <p>ПК-2.3: Владеет методами фрактального анализа временных рядов в экологических приложениях</p>	Расчетно-графическое задание	Зачёт: Контрольные вопросы

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>0</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>24</b>

- КСР	1
самостоятельная работа	47
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Конструктивные и динамические фракталы	11		4	4	7
Тема 2. Методы расчета размерностей	12		4	4	8
Тема 3. Элементы теории мультифракталов	12		4	4	8
Тема 4. Фрактальный анализ временных рядов	12		4	4	8
Тема 5. Фрактальные аспекты пространственной экологии	12		4	4	8
Тема 6. Фрактальная концепция структуры сообществ	12		4	4	8
Аттестация	0				
КСР	1				1
Итого	72	0	24	25	47

#### Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Конструктивные и динамические фракталы  
Тема 2. Методы расчета размерностей  
Тема 3. Элементы теории мультифракталов  
Тема 4. Фрактальный анализ временных рядов  
Тема 5. Фрактальные аспекты пространственной экологии  
Тема 6. Фрактальная концепция структуры сообществ

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 10 ч.

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Самостоятельная работа студентов направлена на закрепление теоретических сведений и отработку конкретных навыков работы с самоподобными объектами.

Цель самостоятельной работы – подготовка современного компетентного специалиста и формирование способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа является наиболее деятельным и творческим процессом, который выполняет ряд дидактических функций: способствует формированию диалектического мышления, вырабатывает высокую культуру умственного труда, совершенствует способы организации познавательной деятельности, воспитывает ответственность, целеустремленность, систематичность и последовательность в работе студентов, развивает у них бережное отношение к своему времени, способность доводить до конца начатое дело.

Изучение понятийного аппарата дисциплины

Вся система индивидуальной самостоятельной работы должна быть подчинена усвоению понятийного аппарата, поскольку одной из важнейших задач подготовки современного грамотного специалиста является овладение и грамотное применение профессиональной терминологии. Лучшему усвоению и пониманию дисциплины помогут различные энциклопедии, словари, справочники и другие материалы, указанные в списке литературы.

Изучение тем самостоятельной подготовки по учебно-тематическому плану

Особое место отводится самостоятельной проработке студентами отдельных разделов и тем по изучаемой дисциплине. Такой подход вырабатывает у студентов инициативу, стремление к увеличению объема знаний, выработке умений и навыков всестороннего овладения способами и приемами профессиональной деятельности.

Работа над основной и дополнительной литературой

Изучение рекомендованной литературы следует начинать с учебников и учебных пособий, затем переходить к нормативно-правовым актам, научным монографиям и материалам периодических изданий. Конспектирование – одна из основных форм самостоятельного труда, требующая от студента активно работать с учебной литературой и не ограничиваться конспектом лекций.

Студент должен уметь самостоятельно подбирать необходимую для учебной и научной работы литературу. При этом следует обращаться к предметным каталогам и библиографическим справочникам, которые имеются в библиотеках.

Для аккумуляции информации по изучаемым темам рекомендуется формировать личный архив, а также каталог используемых источников. При этом если уже на первых курсах обучения студент определяет для себя наиболее интересные сферы для изучения, то подобная работа будет весьма продуктивной с точки зрения формирования библиографии для последующего написания дипломного проекта на выпускном курсе.

Самоподготовка к практическим занятиям

При подготовке к практическому занятию необходимо помнить, что данная дисциплина тесно связана с ранее изучаемыми дисциплинами. На практических занятиях формируются навыки

работы в программной среде R. При подготовке к практическим занятиям следует руководствоваться тематическим планом и рекомендованной литературой, для чего необходимо:

- 1) ознакомиться с соответствующей темой программы изучаемой дисциплины;
- 2) осмыслить круг изучаемых вопросов и логику их рассмотрения;
- 3) изучить рекомендованную учебно-методическим комплексом литературу по данной теме.

Самостоятельная работа студента при подготовке к зачету.

Контроль выступает формой обратной связи и предусматривает оценку успеваемости студентов и разработку мер по дальнейшему повышению качества подготовки современных специалистов.

Итоговой формой контроля успеваемости студентов по учебной дисциплине «Фрактальная геометрия в экологии» является зачет.

Бесспорным фактором успешного завершения очередного модуля является кропотливая, систематическая работа студента в течение всего периода изучения дисциплины (семестра). В этом случае подготовка к зачету будет являться концентрированной систематизацией всех полученных знаний по данной дисциплине.

В начале семестра рекомендуется внимательно изучить перечень вопросов к зачету по данной дисциплине, а также использовать в процессе обучения программу, другие методические материалы, разработанные кафедрой по данной дисциплине. Это позволит в процессе изучения тем сформировать более правильное и обобщенное видение студентом существа того или иного вопроса за счет:

- а) уточняющих вопросов преподавателю;
- б) самостоятельного уточнения вопросов на смежных дисциплинах;
- в) углубленного изучения вопросов темы по учебным пособиям.

После изучения соответствующей тематики рекомендуется проверить наличие и формулировки вопроса по этой теме в перечне вопросов к зачету, а также попытаться изложить ответ на этот вопрос. Если возникают сложности при раскрытии материала, следует вновь обратиться к материалам практических занятий, уточнить терминологический аппарат темы, а также проконсультироваться с преподавателем.

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Расчетно-графическое задание) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

##### **Задание 1. Построение динамических фракталов.**

1. Постройте множество Мандельброта для функции  $f(x) = z^k + c$  для  $k = 3, 4, 5$  и т.д.
2. Постройте фрактал Жулиа для функции  $f(x) = z^k + c$  для  $k = 3, 4, 5$  и т.д.

3. Постройте фрактал Ньютона для функции  $f(x) = z^k - c$  для  $k = 4, 5, 6$ .

4. Постройте фрактал Ньютона для функции  $f(x) = z^3 - z$ .

## **Задание 2. Построение и анализ конструктивных фракталов.**

1. Нарисуйте вариант множества Кантора с исключением средней четверти на каждой итерации, рассчитайте размерность этого фрактала.

2. Нарисуйте вариант салфетки Серпинского, в которой на каждой итерации размер сохраняющихся треугольников составляет не  $1/2$ , а  $1/3$ . Рассчитайте размерность этого фрактала.

3. Нарисуйте случайную кривую Коха, при построении которой направление выгибания надстраиваемой фигуры определяется броском монеты. Рассчитайте размерность этого фрактала.

## **Критерии оценивания (оценочное средство - Расчетно-графическое задание)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	50–100% правильно выполненных заданий
не зачтено	менее 50% правильно выполненных заданий

## **5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации**

### **Шкала оценивания сформированности компетенций**

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.

<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Фракталы и самоподобие: определения.
2. Конструктивные фракталы: способы построения и свойства.
3. Классическое и фрактальное броуновское движение.
4. Случайные фракталы и системы итерируемых функций.
5. Фрактальная размерность.
6. Метод покрытия ячейками.
7. Чем отличаются мультифракталы от монофракталов?
8. Моменты и обобщенные размерности Реньи.
9. Мультифрактальный спектр.
10. Самоподобие временного ряда.
11. R/S-анализ, связь показателя Хёрста с фрактальной размерностью.
12. Классификация временных рядов по показателю Хёрста.
13. Применение фрактального анализа в системах мониторинга.
14. Фрактальная структура местообитаний.
15. Фрактальная структура видовых ареалов.
16. Фрактальная структура экотонов.
17. Проявления самоподобия в структуре сообществ.
18. Индексы разнообразия и их связь с обобщенными размерностями.
19. Скейлинг видового разнообразия.
20. Интерпретация мультифрактального спектра видовой структуры.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Достаточный уровень подготовки. Студент показывает допустимый уровень теоретических знаний, может делать существенные ошибки, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ.
не зачтено	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора.

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Секованов В. С. Фрактальная геометрия. Преподавание, задачи, алгоритмы, синергетика, эстетика, приложения : учебное пособие / Секованов В. С. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 180 с. - Книга из коллекции Лань - Математика. - ISBN 978-5-8114-3264-6., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=798726&idb=0>.



Дополнительная литература:

1. Фракталы и мультифракталы в биоэкологии : монография / ННГУ, Ин-т экологии Волж. бассейна РАН, Ин-т приклад. физики РАН. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. - 370 с. : ил. - ISBN 978-5-91326-246-2 : 340.19., 22 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

1. <http://www.r-project.org/> – R Project: The R Project for Statistical Computing.
2. <http://cran.r-project.org/> – CRAN: The Comprehensive R Archive.
3. <http://www.rstudio.com/> – R Studio web-site.
4. <http://shiny.stat.calpoly.edu/ChaosGame2D/> – инструмент визуализации двумерной игры в хаос.

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 05.04.06 - Экология и природопользование.

Автор(ы): Якимов Василий Николаевич, доктор биологических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Якимов Василий Николаевич, доктор биологических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 05.12.2023, протокол № 2.