

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»**

Институт биологии и биомедицины  
(факультет / институт / филиал)

---

УТВЕРЖДЕНО

Решением  
ученого совета  
ННГУ \_\_\_\_\_

« 30 » \_\_\_\_\_ августа 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

**Математическое моделирование в экологии**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

**Бакалавриат**

Направление подготовки / специальность

**05.03.06 Экология и природопользование**

Профиль подготовки

**Экология**

Квалификация (степень)

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Нижний Новгород  
2020

## 1. Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Математическое моделирование в экологии» относится к вариативной части Блока 1 ОПОП по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование. Дисциплина может быть выбрана студентами для освоения в 6 семестре.

Студенты к моменту освоения дисциплины «Математическое моделирование в экологии», согласно ФГОС ВО, ознакомлены с основными теоретическими понятиями и прикладными знаниями, полученными в рамках изучения дисциплин «Математика», «Информатика», «Общая экология», «Математические методы в экологии».

К моменту изучения дисциплины студенты владеют теоретическими основами базовых математических дисциплин, у студентов присутствуют устойчивые навыки применения математических методов для решения прикладных задач, навыки работы в специализированных программных продуктах.

### Целями освоения дисциплины являются:

- в доступной форме дать представление о математическом моделировании биологических процессов (в экологии, в частности), его целях, задачах, методах построения и исследования моделей;

- дать понятие о вопросах оптимизации и управления в эко-, биотехнических системах и т.д.;

- подготовка студентов к практической работе по исследованию поведения экосистем и прогнозированию этого поведения в условиях меняющихся внешних воздействий;

- формирование навыков построения, качественного и численного исследования математических моделей в экологии, в том числе с использованием современных компьютерных средств и прикладного программного обеспечения.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции  (код компетенции, уровень освоения – при наличии в карте компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
<i>ОПК-1:</i> владением базовыми знаниями в области фундаментальных разделов математики в объеме, необходимом для владения математическим аппаратом экологических наук, обработки информации и анализа данных по экологии и природопользованию (Базовый этап)	<i>З1 (ОПК-1):</i> Знать математические методы для создания качественных и количественных моделей объектов и процессов. <i>У1 (ОПК-1):</i> Уметь применять метод математического моделирования в исследовании сложных процессов. <i>В1 (ОПК-1):</i> Владеть навыками практической работы на компьютерах с математическими моделями и навыками работы со специальной литературой.

ПК-15: владением знаниями о теоретических основах биогеографии, экологии животных, растений и микроорганизмов (Базовый этап)	<p>31 (ПК-15): Знать основные принципы построения и использования базовых математических моделей экологических систем.</p> <p>У1 (ПК-15): Уметь определять тип математической модели, необходимой для описания конкретной экологической проблемы.</p> <p>В1 (ПК-15): Владеть культурой постановки, анализа, решения нелинейных экологических задач, требующих для своего решения использования математических подходов.</p>
--	---

### 3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины (модуля) составляет 2 зачетные единицы, всего 72 часа, из которых 40 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (13 часов занятия лекционного типа, 26 часов занятия практического типа, 1 час мероприятия промежуточной аттестации), 32 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы, из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия практического типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Раздел 1. Определение математических моделей и моделирования	14	2	4		8	6
Раздел 2. Базовые математические модели и общие вопросы устойчивости экосистем	15	3	6		9	6
Раздел 3. Модели роста и развития отдельной популяции	15	3	6		9	6
Раздел 4. Базовые модели взаимодействия двух и трех популяций	17	3	6		9	8
Раздел 5. Имитационное моделирование как системный метод исследования экосистем	12	2	4		6	6
В т.ч. текущий контроль	1					
Промежуточная аттестация – Зачет						

### 4. Образовательные технологии

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекционных и практических занятий, на которых применяются следующие образовательные технологии:

1. Традиционные технологии: *информационные лекции* (последовательное изложение материала в дисциплинарной логике, осуществляемое преимущественно вербальными средствами), *практические занятия* (освоение конкретных умений и навыков по предложенному алгоритму);
2. Технологии проблемного обучения: *проблемные лекции* (изложение материала, предполагающее постановку проблемных и дискуссионных вопросов, освещение различных научных подходов, авторские комментарии, связанные с

- различными моделями интерпретации изучаемого материала);
3. Информационно-коммуникационные образовательные технологии: *лекции-визуализации* (изложение содержания сопровождается презентацией – демонстрацией учебных материалов, представленных в различных знаковых системах, в т.ч. иллюстративных, графических, аудио- и видеоматериалов).

На лекциях раскрываются следующие основные темы изучаемого курса, которые входят в рабочую программу: история моделирования в экологии, общее понятие модели, классификация моделей, устойчивость и стабильность, фазовые портреты, особые точки, бифуркации, материально-энергетический баланс в моделях популяции, непрерывные модели популяций с неограниченным и ограниченным ростом, дискретные модели популяций, стохастические модели популяций, классификация взаимодействий популяций, модели конкурирующих популяций, моделирование трофических взаимодействий, модели взаимодействия трех популяций, иерархия моделей в экологии, построение имитационной модели, моделирование в рамках системного анализа.

## **5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа студентов направлена на самостоятельное изучение конкретных математических моделей для формирования навыков работы с параметрами моделей, умения выделять ключевые факторы и делать выводы о характере динамики моделируемой системы.

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

*Виды самостоятельной работы студентов в рамках освоения дисциплины:*

- изучение понятийного аппарата и проработка тем дисциплины;
- работа с основной и дополнительной литературой дома и в библиотеке;
- изучение сайтов по темам дисциплины в сети Интернет;
- подготовка к тестам (примеры заданий см. в п. 6.4);
- подготовка к собеседованию (темы см. в п.6.4);
- подготовка реферата;
- подготовка к зачету.

### **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 списке литературы.

### **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.

### **Изучение сайтов по темам дисциплины в сети Интернет**

Ресурсы Интернет являются одним из альтернативных источников быстрого поиска требуемой информации. Их использование возможно для получения основных и дополнительных сведений по изучаемым материалам.

### **Подготовка реферата**

Реферативная работа является одной из важных составляющих учебного процесса и выполняется студентом самостоятельно в соответствии с учебным планом.

Подготовка реферата по дисциплине «Математическое моделирование в экологии» должна способствовать углубленному усвоению студентом лекционного курса и приобретению практических навыков в области работы с математическими моделями экологических систем разного иерархического уровня.

Студенту предоставляется право выбора темы реферата из числа указанных в списке.

Структура реферата должна включать в себя главы (в основном три) с их разбивкой на параграфы (подразделы). Все части работы должны быть изложены в строгой логической последовательности и взаимосвязи. Содержание работы следует иллюстрировать схемами, таблицами, диаграммами, графиками, рисунками и т.п. Графическому материалу по тексту необходимо давать пояснение.

Объем реферата составляет до 50 страниц.

### **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.

В начале семестра рекомендуется внимательно изучить перечень вопросов к зачету по данной дисциплине (представлен в разделе 6.4), 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 лекционному материалу, материалам практических занятий, уточнить терминологический аппарат темы, а также проконсультироваться с преподавателем.

## **6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

**6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования**

ОПК-1: владением базовыми знаниями в области фундаментальных разделов математики в объеме, необходимом для владения математическим аппаратом экологических наук, обработки информации и анализа данных по экологии и природопользованию.

Общепрофессиональная компетенция выпускника программы бакалавриата по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование».

Этап формирования – базовый.

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать основные принципы построения и использования базовых математических моделей экологических процессов.	отсутствие знаний материала	наличие грубых ошибок в основном материале	знание основного материала с рядом негрубых ошибок	знание основного материалом с рядом заметных погрешностей	знание основного материала с незначительными погрешностями	знание основного материала без ошибок и погрешностей	знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> Уметь применять метод математического моделирования в исследовании экологических процессов	Полное отсутствие умения применять метод математического моделирования в исследовании экологических процессов	Отсутствует умение применять метод математического моделирования в исследовании экологических процессов	Умение применять метод математического моделирования в исследовании экологических процессов при наличии негрубых ошибок	Умение применять метод математического моделирования в исследовании экологических процессов при наличии заметных погрешностей	Умение применять метод математического моделирования в исследовании экологических процессов при наличии незначительных погрешностей	Умение применять метод математического моделирования в исследовании экологических процессов без ошибок и погрешностей	Умение применять метод математического моделирования в исследовании экологических процессов, способность самостоятельно предлагать модификации моделей
<u>Навыки</u> Владеть навыками практической работы на компьютерах с математическими моделями и навыками работы со специальной литературой	Полное отсутствие навыков практической работы на компьютерах с математическими моделями и навыками работы со специальной литературой	Отсутствуют навыки практической работы на компьютерах с математическими моделями и навыками работы со специальной литературой	Наличие минимальных навыков практической работы на компьютерах с математическими моделями и навыками работы со специальной литературой	Посредственное владение навыками практической работы на компьютерах с математическими моделями и навыками работы со специальной литературой	Достаточное владение навыками практической работы на компьютерах с математическими моделями и навыками работы со специальной литературой	Хорошее владение навыками практической работы на компьютерах с математическими моделями и навыками работы со специальной литературой	Всестороннее владение навыками практической работы на компьютерах с математическими моделями и навыками работы со специальной литературой
Шкала оценок по проценту правильно	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

выполненных контрольных заданий							
---------------------------------	--	--	--	--	--	--	--

ПК-15: владением знаниями о теоретических основах биогеографии, экологии животных, растений и микроорганизмов.

Профессиональная компетенция выпускника программы бакалавриата по направлению подготовки 05.03.06 «**Экология и природопользование**».

*Этап формирования – базовый.*

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> <i>Знать</i> основные принципы построения и использования базовых математических моделей экологических систем.	отсутствие знаний материала	наличие грубых ошибок в основном материале	знание основного материала с рядом негрубых ошибок	знание основного материала с рядом заметных погрешностей	знание основного материала с незначительными погрешностями	знание основного материала без ошибок и погрешностей	знание основного и дополнительного материала без ошибок и погрешностей
<u>Умения</u> <i>Уметь</i> определять тип модели для описания конкретной экологической проблемы	Полное отсутствие умения определять тип модели для описания конкретной экологической проблемы	Отсутствие умения определять тип модели для описания конкретной экологической проблемы	Умение определять тип модели для описания конкретной экологической проблемы при наличии негрубых ошибок	Умение определять тип модели для описания конкретной экологической проблемы при наличии заметных погрешностей	Умение определять тип модели для описания конкретной экологической проблемы при наличии незначительных погрешностей	Умение определять тип модели для описания конкретной экологической проблемы без ошибок и погрешностей	Умение определять тип модели для описания конкретной экологической проблемы, способность использовать модели разного типа
<u>Навыки</u> <i>Владеть</i> культурой постановки, анализа, решения нелинейных экологических задач, требующих для своего решения использования математических подходов	Полное отсутствие культуры постановки, анализа, решения нелинейных экологических задач	Отсутствие культуры постановки, анализа, решения нелинейных экологических задач	Наличие минимальной культуры постановки, анализа, решения нелинейных экологических задач	Посредственное владение культурой постановки, анализа, решения нелинейных экологических задач	Достаточное владение культурой постановки, анализа, решения нелинейных экологических задач	Хорошее владение культурой постановки, анализа, решения нелинейных экологических задач	Всестороннее владение культурой постановки, анализа, решения нелинейных экологических задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%



## **6.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине**

Промежуточный контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде зачета, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Зачет проводится в устной форме и заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ.

### **Критерии оценивания ответа на зачете**

<b>Оценка</b>	<b>Уровень подготовки</b>
Зачтено	Достаточный уровень подготовки. Студент показывает хорошее владение теоретическим материалом. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя. Выступление с докладом на семинаре на достаточном уровне.
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 преподавателя. Выступление с докладом на семинаре на недостаточном уровне, либо доклад не представлен.

### **Критерии оценивания тестов**

Тестовые задания оцениваются по пятибалльной системе в зависимости от доли правильных ответов или правильно выполненных контрольных заданий:

- «отлично»: 80–100% правильных ответов;
- «хорошо»: 65–80% правильных ответов;
- «удовлетворительно»: 50–65% правильных ответов;
- «неудовлетворительно» – 25–50% правильных ответов;
- «плохо» – менее 25% правильных ответов.

### **Критерии оценивания ответа на собеседовании**

Собеседование проводится для оценки знаний студентами теоретического материала, способности логически верно и аргументировано излагать материал, умения анализировать факты и проблемные аспекты по теме. Применяется альтернативная шкала:

• «зачтено»: студент демонстрирует знание материала по разделу, основанное на знакомстве с обязательной литературой и современными публикациями, дает логичные, аргументированные ответы на поставленные вопросы; допускаются незначительные неточности в ответах;

• «не зачтено»: имеются существенные пробелы в знании основного материала по разделу, допущены принципиальные ошибки при изложении материала.

### **Критерии оценивания реферата**

Выполненный студентом реферат направляется на проверку преподавателю. Представляемый для проверки реферат должен быть помещен в папку (скоросшиватель).

Подготовленный и оформленный в соответствии с требованиями реферат оценивается преподавателем по альтернативной шкале «зачтено / не зачтено» в соответствии со следующими критериями:

- уровень знаний и умений: знание фактического материала, усвоение общих представлений, понятий, идей.
- достижение поставленной цели и задач исследования (новизна и актуальность поставленных в реферате проблем, правильность формулирования цели, определения задач исследования, правильность выбора методов решения задач и реализации цели; соответствие выводов решаемым задачам, поставленной цели, убедительность выводов);
- уровень эрудированности автора по изученной теме (знание автором состояния изучаемой проблематики, цитирование источников, степень использования в работе результатов исследований, использование последних публикаций по проблеме);
- использование разнообразных источников;
- наличие критичного обзора литературы по теме реферата, его полнота и последовательность анализа;
- культура письменного изложения материала (логичность подачи материала, грамотность автора)
- степень самостоятельности при выполнении реферата, отсутствие плагиата;
- степень обоснованности аргументов и обобщений (полнота, глубина, всесторонность раскрытия темы, корректность аргументации и системы доказательств, характер и достоверность примеров, иллюстративного материала, наличие знаний интегрированного характера, способность к обобщению).

### **6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих сформированность компетенций**

*Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:*

- *тесты;*
- *оценка реферата, подготовка которого подразумевает работу с одной или несколькими математическими моделями.*

*Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:*

- *устные ответы на вопросы в ходе собеседования;*
- *оценка реферата, подготовка которого подразумевает работу с одной или несколькими математическими моделями.*

### **6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих сформированность компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции**

#### **Вопросы промежуточного контроля (зачет):**

1. Общее определение модели.
2. Определение моделей: вербальных, физических, математических. Привести примеры.
3. Классификация математических моделей: по методам построения, целям использования, формам математического представления.
4. Понятие о материально-энергетических балансах и способах их использования для построения математических моделей.
5. Определение устойчивости и стабильности. Метод Ляпунова. Характеристическое уравнение.

6. Метод фазовых портретов: фазовые траектории, их развертки во времени, устойчивость в фазовом пространстве.
7. Особые точки, их классификация в зависимости от решения характеристического уравнения.
8. Влияние явлений запаздывания и изменчивости структуры популяции на устойчивость экосистем.
9. Влияние изменений параметров модели на устойчивость особых точек; бифуркационные значения параметров.
10. Рост популяции в среде с неограниченным запасом питания (модель Мальтуса).
11. Рост при ограничениях скорости роста отравлением, влияние смертности и т.п. (модель Ферхюльста и ее модификации).
12. Модель роста популяции с нижней границей численности.
13. Модель роста популяции с верхней и нижней границами численности.
14. Влияние эффекта истощения лимитирующего источника питания (модель Моно в закрытой системе и ее модификации).
15. Модель Моно в открытой системе. Стационарные состояния, их устойчивость. Хемостатная кривая.
16. Дискретные модели популяций с неперекрывающимися поколениями. Диаграмма и лестница Ламерея. Циклы. Хаотическое поведение.
17. Модели разновозрастных популяций.
18. Стохастические модели популяций. Пример простейшей вероятностной модели.
19. Общая классификация взаимодействий двух популяций (симбиоз, комменсализм, «хищник – жертва», аменсализм, конкуренция, нейтрализм).
20. Модель нейтрализма. Трансбиотические связи.
21. Модель аменсализма. Исследование устойчивости стационарного состояния, анализ бифуркационных значений параметров, их биологическая интерпретация.
22. Модель комменсализма. Устойчивость стационарного состояния, бифуркации, биологическая интерпретация.
23. Модель мутуализма. Ее исследование и биологическая интерпретация.
24. Модель конкуренции. Ее исследование. Примеры экологических сообществ.
25. Модели взаимоотношения «хищник – жертва». Недостатки классической модели Лотка - Вольтерра.
26. Модели многоуровневых биоценозов, связанных соотношениями «хищник-жертва» (на основе модели Лотка – Вольтерра).
27. Методы построения математических моделей.
28. Основные этапы построения модели экспериментально-аналитическим методом.
29. Имитационное моделирование как один из системных методов экологии.
30. Системный подход и системный анализ. Применение в экологии.

#### **Типовые тестовые задания для оценки знаний по компетенции «ОПК-1»:**

1. Модель это:
  - а) новый объект (реальный, информационный или воображаемый), отличный от исходного, который обладает существенными для целей моделирования свойствами и в рамках этих целей полностью заменяет исходный объект;
  - б) некоторое упрощенное подобие реального объекта;
  - в) физический или информационный аналог объекта, функционирование которого по определенным параметрам подобно функционированию реального объекта.
2. Аспектами моделирования могут выступать:
  - а) внешний вид объекта;
  - б) назначение объекта;
  - в) структура объекта;

г) поведение объекта.

3. Выберите вариант, где перечислены виды модели по способу представления:

- а) материальные, воображаемые, информационные;
- б) статические, динамические;
- в) модели внешнего вида, структуры, поведения.

4. Какие виды моделей не относятся к информационным.

- а) дескриптивные;
- б) наглядные;
- в) коммуникативные;
- г) детерминированные.

5. Укажите варианты, соответствующие действительности:

- а) модель зависит от целей моделирования;
- б) модель не зависит от целей моделирования;
- в) одному реальному объекту, может соответствовать несколько различных моделей;
- г) одна модель может соответствовать нескольким реальным объектам.

6. Укажите свойства, присущие учебным компьютерным моделям.

- а) наглядность;
- б) динамичность;
- в) интерактивность;
- г) простота в управлении.

7. Какие этапы в себя включает системный подход:

- а) дедукция;
- б) индукция;
- в) декомпозиция;
- г) синтез.

8. Дайте определение «Система»

- а) это множество прямо или косвенно взаимосвязанных элементов;
- б) это некоторая совокупность элементов, существующих раздельно;
- в) это множество объектов, которые не оказывают влияния друг на друга.

9. Объект, о котором ничего не известно, называется:

- а) «белым ящиком»;
- б) «серым ящиком»;
- в) «черным ящиком».

10. В основном тезисе формализации говорится следующее:

- а) суть объекта не меняется от того, как мы его назовем;
- б) суть объекта меняется в зависимости от его названия;
- в) суть объекта зависит от его названия.

### **Вопросы для собеседования для оценки компетенции ОПК-1:**

1. Что понимается под математической моделью, какие исторические этапы прошло моделирование в экологии?

2. В чем заключаются ключевые отличия между моделями по способу их реализации (вербальные, знаковые, математические, материальные модели)?

3. В чем заключаются ключевые отличия между моделями по методам их построения (аналитические, экспериментально-аналитические, экспериментально-регрессионные модели)?
4. Какие математические методы используются для представления экологических моделей?
5. Какие средства визуализации используются для представления результатов моделирования?
6. Каким образом имитационные модели используются для исследования реальных экологических систем?
7. Дайте определения устойчивости и стабильности, чем отличаются динамическая и структурная устойчивость?
8. В чем заключается метод Ляпунова и как он применяется для исследования динамической устойчивости?
9. Как строится фазовый портрет и как он используется для исследования устойчивости?
10. Каковы основные виды фазовых траекторий, чем они отличаются друг от друга?
11. Как влияют явления запаздывания и изменчивости структуры популяции на устойчивость экосистем?
12. Как параметры модели влияют на устойчивость особых точек, что такое бифуркационные значения параметров?
13. Что такое материально-энергетический баланс, как он используется для построения математических моделей?
14. Как происходит рост популяции при отсутствии ограничений (на основе модели Мальтуса)?
15. Как происходит рост популяции в условиях ограничения емкостью среды (на основе модели Ферхюльста)?
16. В чем заключаются особенности динамики популяции в модели с нижней границей численности?
17. В чем заключаются особенности динамики популяции в модели с верхней границей численности?
18. Как истощение лимитирующего ресурса влияет на динамику популяции (на основе модели Моно)?
19. Какое влияние оказывает эффект запаздывания на вид модели, ее автономность, фазовые траектории и устойчивость?
20. В чем отличие дискретных моделей популяций с неперекрывающимися поколениями от непрерывных моделей динамики популяций?
21. Как строится и анализируется диаграмма Ламерея?
22. Чем стохастические модели популяций отличаются от детерминированных?
23. Каким образом пространственное распределение учитывается при построении популяционных моделей?
24. Каковы основные виды взаимодействия между популяциями?
25. В чем заключается обобщенная модель взаимодействия двух популяций?
26. Как строится модель конкурирующих популяций на основе логистических уравнений?
27. При каких значениях параметров модель конкурирующих популяций является устойчивой?
28. Опишите классическую модель Лотки-Вольтерра, каковы ее недостатки и направления модификации?
29. В чем заключается физиолого-экологический подход к моделированию взаимодействия популяций?
30. Как базовая модель взаимодействующих популяций обобщается для описания системы из трех популяций?

31. Какова иерархия моделей в экологии?
32. Каковы основные этапы построения имитационной модели экспериментально – аналитическим методом?
33. Какие методы проверки качества аппроксимации экспериментальных данных используются при построении имитационных моделей?
34. Какие методы применяются для анализа чувствительности модели по параметрам?
35. Каковы роль и место математического моделирования в организации системных исследований?

**Темы рефератов для оценки знаний, умений и навыков по компетенции «ПК-15»:**

1. **Экспоненциальный рост популяции** (решение уравнения, график временной зависимости для численности)
2. **Логистический рост** (формулировка модели, решение уравнения, график временной зависимости для численности, анализ устойчивости стационарных состояний)
3. **Модель популяции с наименьшей критической численностью** (формулировка модели, график временной зависимости для численности, анализ устойчивости стационарных состояний)
4. **Дискретное логистическое уравнение** (формулировка, исследование уравнения, варианты поведения во времени). **Лестница Ламерея** (построение временной зависимости для численности по графику зависимости, анализ устойчивости положения равновесия)
5. **Система линейных химических реакций** (определение стационарных состояний, построение главных изоклин, фазового портрета и кинетических кривых)
6. **Модель Лотки** (модель химической реакции) (определение стационарных состояний, построение главных изоклин, фазового портрета и кинетических кривых)
7. **Классическая модель Вольтерра «хищник-жертва»** (определение стационарных состояний, построение главных изоклин, фазового портрета и кинетических кривых)
8. **Модель отбора одного из равноправных** (общая модель для двух видов и модель, учитывающая ограниченность в питательных ресурсах и быстрое их поглощение по сравнению с процессами репродукции) (определение стационарных состояний, построение главных изоклин, фазового портрета и кинетических кривых)
9. **Модель конкуренции** (с учетом внутривидовой конкуренции) (определение стационарных состояний, построение главных изоклин, фазового портрета и кинетических кривых)
10. **Модель «хищник-жертва»** (с учетом внутривидовой конкуренции) (определение стационарных состояний, построение главных изоклин, фазового портрета и кинетических кривых)
11. **Модель биохимической регуляции белкового синтеза** (генетический триггер Жакоба и Моно) (для  $m = 0$  определение стационарных состояний, построение главных изоклин, фазового портрета и кинетических кривых)
12. **Брюсселятор** (определение стационарных состояний, определение типа устойчивости стационарных состояний в зависимости от значений параметров системы, вид фазового портрета в зависимости от значений параметров системы)
13. **Модель гликолиза (упрощенная схема)** (определение стационарных состояний, определение типа устойчивости стационарных состояний в зависимости от значений параметров системы, вид фазового портрета в зависимости от значений параметров системы)

### **6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.**

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД.  
Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

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

а) основная литература:

1. Ризниченко Г.Ю. Математическое моделирование биологических процессов. Модели в биофизике и экологии. – М.: Юрайт, 2020. – 183 с. – Доступна на ЭБС «Юрайт» <https://biblio-online.ru/book/F6B58D55-D654-4E69-9ECB-D14394A2CA3E>

б) дополнительная литература:

1. Мятлев В.Д., Панченко Л.А., Ризниченко Г.Ю., Терехин А.Т. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. – М.: Юрайт, 2020. – 321 с. – Доступна на ЭБС «Юрайт» <https://biblio-online.ru/book/3BE3DA5E-63AD-4D81-ABC6-8B5C7744D7B3>

в) Интернет-ресурсы:

1. <http://www.library.biophys.msu.ru/MathMod/> – «Математическое моделирование в экологии» Г.Ю. Ризниченко.
2. <http://dmb.biophys.msu.ru/> – Информационная система «Динамические модели в биологии», созданная на кафедре биофизики Московского государственного Университета им. М.В.Ломоносова.

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

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, текущего контроля и промежуточной аттестации, групповых и индивидуальных консультаций, укомплектованные специализированной мебелью и демонстрационным оборудованием (доска, переносное мультимедийное оборудование (проектор, ноутбук), экран). Компьютерный класс для проведения занятий практического типа, оснащённый современной компьютерной техникой, соответствующим дисциплине программным обеспечением, и обеспеченный доступом в сеть "Интернет". Помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО с учетом рекомендаций и ОПОП ВО по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование.

Автор \_\_\_\_\_ д.б.н., доц. каф. экологии Якимов В.Н.

Рецензент (ы) \_\_\_\_\_ к.б.н., доцент Зрянин В.А.

Заведующий кафедрой экологии \_\_\_\_\_ д.б.н., проф. Гелашвили Д.Б.

Программа одобрена на заседании методической комиссии ИББМ от 30 августа 2020 года, протокол № 14.