

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Наумова Наталия Александровна
Должность: Ректор
Дата подписания: 17.08.2026 16:03:23
Уникальный программный ключ:
6b5279da4e034bffa679172803da5b7b559fc69e2

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ»
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ)

Факультет естественных наук
Кафедра общей биологии и биоэкологии

УТВЕРЖДЁН

на заседании кафедры общей биологии и
биоэкологии

Протокол от «28» апреля 2026 г. № 9

Заведующий кафедрой

 Гордеев М.И./

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

По дисциплине

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОСИСТЕМ

Направление подготовки

06.04.01 Биология

Программа подготовки:

Биоинформатика и анализ больших данных в экологическом мониторинг

Квалификация

Магистр

Форма обучения

Очная

Москва
2026

Авторы-составители:

Гордеев М.И., д.б.н., профессор кафедры общей биологии и биоэкологии ФГАОУ ВО «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ»

Москаев А.В., к.б.н., доцент кафедры общей биологии и биоэкологии ФГАОУ ВО «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ»

Темников А.А., старший преподаватель кафедры общей биологии и биоэкологии ФГАОУ ВО «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРОСВЕЩЕНИЯ»

Фонд оценочных средств по дисциплине «Моделирование биосистем» составлен в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 06.04.01 Биология, утверждённого приказом МИНОБРНАУКИ России от 11.08.2020 № 934.

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)» и является обязательной для изучения.

Год начала подготовки – 2026.

Оглавление

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы	4
2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания.....	4
3. Типовые контрольные задания	8
3.1. Тестовые задания	8
3.2. Ситуационные задачи (краткий ответ)	12
3.3. Открытые вопросы (краткий ответ).....	13
3.4. Задания для лабораторных работ (практическая подготовка)	13
3.5. Вопросы для опроса и собеседования	15
3.6. Вопросы к зачёту	17
4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания	20
4.1. Общие положения.....	20
4.2. Формы текущего контроля и их балльная оценка	20
4.3. Процедура проведения зачёта	20

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Код и наименование компетенции	Этапы формирования
СПК-2. Способен использовать программы для эпигенетического анализа и качества эпигенетических данных.	1. Работа на учебных занятиях (лекции, лабораторные работы). 2. Самостоятельная работа (подготовка к опросам, выполнение лабораторного практикума).
СПК-3. Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты.	1. Работа на учебных занятиях (лекции, лабораторные работы). 2. Самостоятельная работа (подготовка к опросам, выполнение лабораторного практикума).

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Оцениваемые компетенции	Уровень сформированности	Этап формирования	Описание показателей	Критерии оценивания	Шкала оценивания
СПК-2	Пороговый	1. Работа на учебных занятиях	знать: – основные классы программных средств, применяемых в биологии для анализа данных (R, Python, специализированные пакеты); – принципы контроля качества данных, используемых при построении моделей; – форматы входных и выходных данных в типовых задачах моделирования биосистем. уметь: – запускать готовые скрипты на R/Python для решения простых модельных задач (рост популяций, кинетика); – оценивать корректность исходных данных (пропуски, выбросы) перед подачей в модель; – визуализировать результаты моделирования стандартными средствами.	Опрос, тестирование	Шкала оценивания опроса. Шкала оценивания тестирования.
	Продвинутый	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа	уметь: – адаптировать существующие программные реализации моделей под конкретную биологическую задачу, в том числе с элементами эпигенетической регуляции; – проводить верификацию и валидацию моделей с использованием статистических критериев качества; – создавать воспроизводимые отчёты (R Markdown/Jupyter Notebook), содержащие	Практическая подготовка	Шкала оценивания практической подготовки

Оцени- ваемые компе- тенции	Уровень сформиро- ванности	Этап форми- рования	Описание показателей	Крите- рии оцени- вания	Шкала оценива- ния
			код, результаты и интерпретацию качества модели. владеть: – навыками работы с пакетами для моделирования (deSolve, GillespieSSA, Mesa) и оценки качества подгонки; – методикой сравнения нескольких модельных сценариев на основе рассчитанных метрик.		
СПК-3	Пороговый	1. Работа на учебных занятиях	знать: – основные типы математических моделей в биологии (детерминированные, стохастические, пространственные); – понятийный аппарат: переменные состояния, параметры, стационарные точки, устойчивость, фазовый портрет; – этапы построения модели: от содержательной постановки до верификации. уметь: – формулировать простейшую гипотезу и переводить её на язык дифференциальных уравнений или правил клеточного автомата; – реализовывать базовые модели (экспоненциальный рост, логистическая модель, SIR) в среде R/Python; – анализировать поведение модели при изменении параметров и интерпретировать результаты.	Опрос, тестирование	Шкала оценивания опроса. Шкала оценивания тестирования.
	Продвину- тый	1. Работа на учебных занятиях 2. Самостоятельная работа	уметь: – самостоятельно формализовать прикладную биологическую проблему в виде математической модели, обосновывая выбор типа модели и допущений; – проводить системный анализ модели: исследовать устойчивость стационарных состояний, оценивать влияние стохастичности, сравнивать сценарии; – предлагать модификации модели для получения новых научных результатов (например, добавление возрастной структуры, пространственной неоднородности). владеть: – техникой численного эксперимента: планирование серий симуляций, обработка и визуализация многомерных результатов; – способностью критически оценивать предсказательную силу модели и формулировать направления её дальнейшего развития.	Практическая подготовка	Шкала оценивания практической подготовки

Шкала оценивания тестирования

Показатель	Баллы
Отлично (высокий уровень). Студент демонстрирует отличное знание теоретического материала по всем разделам дисциплины. Правильные ответы составляют не менее 90% от общего числа вопросов теста.	9–10
Хорошо (базовый уровень). Доля правильных ответов – 70–89%.	7–8
Удовлетворительно (пороговый уровень). Доля правильных ответов – 50–69%.	5–6
Неудовлетворительно (низкий уровень). Доля правильных ответов – 30–49%.	3–4
Крайне неудовлетворительно. Доля правильных ответов менее 30%.	0–2

Максимальное количество баллов – 20.

Шкала оценивания опроса и собеседования

Показатель	Баллы
Отлично (высокий уровень). Студент демонстрирует всестороннее, глубокое и систематическое знание теоретических основ моделирования. Ответы полные, логически выстроенные, подкреплены примерами. Свободно владеет понятийным аппаратом, способен сравнивать подходы, выделять допущения, отвечает на дополнительные вопросы.	9–10
Хорошо (базовый уровень). Студент показывает хорошее знание материала, основные понятия излагает верно. Ответы достаточно полные, но могут содержать незначительные неточности. На дополнительные вопросы отвечает, но не всегда уверенно.	7–8
Удовлетворительно (пороговый уровень). Студент имеет общее представление о предмете, но знание фрагментарно. Ответы неполны, требуют наводящих вопросов. Допускает ошибки при интерпретации понятий.	5–6
Неудовлетворительно (низкий уровень). Ответы содержат грубые ошибки, основные понятия искажены или не раскрыты. На большинство вопросов отвечает неверно.	3–4
Крайне неудовлетворительно. Отказывается отвечать или ответы полностью не соответствуют заданию.	0–2

Максимальное количество баллов – 10.

Шкала оценивания практической подготовки

Показатель	Баллы
Отлично (высокий уровень). Студент демонстрирует глубокое понимание теоретических основ моделирования, безошибочно реализует математическую модель в R/Python, код корректен и хорошо документирован. Отчёт логично структурирован, содержит все необходимые разделы, визуализация соответствует задаче, выводы обоснованы. При защите свободно ориентируется в материале, аргументирует выбор параметров и методов, способен модифицировать модель.	9–10
Хорошо (базовый уровень). Модель реализована корректно, но имеются незначительные погрешности в коде или документировании. Отчёт содержит все основные компоненты, однако интерпретация или визуализация выполнены с небольшими недочётами. При защите отвечает на большинство вопросов.	7–8
Удовлетворительно (пороговый уровень). Студент имеет общее представление о модели, но при реализации допускает ошибки, не позволяющие полностью корректно воспроизвести ожидаемую динамику. Код работает нестабильно или плохо читаем. Отчёт представлен в минимальном объёме. Защита выявляет пробелы в понимании базовых понятий.	5–6
Неудовлетворительно (низкий уровень). Модель реализована с грубыми ошибками, не даёт физически осмысленного результата, либо код отсутствует. Отчёт не структурирован, выводы не соответствуют данным. Студент с трудом объясняет основные этапы работы.	3–4
Крайне неудовлетворительно. Лабораторная работа не выполнена, код и отчёт не представлены.	0–2

Максимальное количество баллов – 50 (5 работ по 10 баллов каждая).

Шкала оценивания зачёта

Показатель	Баллы
Отлично (высокий уровень). Студент демонстрирует глубокое и системное знание всех разделов моделирования. Ответы полные, точные, иллюстрируются уравнениями, фазовыми портретами, сравнением подходов. Практическое задание выполнено безупречно. Свободно обсуждает ограничения модели, предлагает модификации.	17–20
Хорошо (базовый уровень). Студент хорошо владеет материалом, основные понятия излагает верно. В ответах могут присутствовать незначительные неточности. Практическое задание выполнено в целом правильно, но может быть не оптимальным по стилю. Отвечает на большинство дополнительных вопросов.	13–16

Показатель	Баллы
Удовлетворительно (пороговый уровень). Студент показывает фрагментарное знание. Ответы коротки, требуют наводящих подсказок. Практическое задание реализовано с недочётами, но даёт правдоподобный результат. Студент способен обсудить лишь основные этапы работы.	9–12
Неудовлетворительно (низкий уровень). Знания отрывочны, содержат грубые ошибки. Студент не может объяснить ключевые концепции. Практическое задание либо не выполнено, либо содержит принципиальные ошибки.	5–8
Крайне неудовлетворительно. Не может дать ни одного теоретического ответа, практическое задание не выполнено.	0–4

Максимальное количество баллов на зачёте – 20.

Итоговая шкала оценивания по дисциплине

Сумма баллов	Оценка
81–100	зачтено
61–80	зачтено
41–60	зачтено
0–40	не зачтено

3. Типовые контрольные задания

3.1. Тестовые задания

Вариант 1

Выберите один правильный ответ из четырёх предложенных.

- Какой пакет в R чаще всего используется для решения обыкновенных дифференциальных уравнений?
 - ggplot2
 - deSolve
 - dplyr
 - vegan

Ответ: б
- Модель экспоненциального роста популяции описывается уравнением:
 - $dN/dt = rN$
 - $dN/dt = rN(1 - N/K)$
 - $dN/dt = aN - bNP$
 - $dN/dt = rN(K - N)$

Ответ: а
- Прямой метод Гиллеспи относится к классу:
 - детерминированных методов решения ОДУ
 - точно стохастических методов симуляции
 - приближённых стохастических методов (tau-leaping)
 - методов многомерной оптимизации

Ответ: б

4. В модели SIR буква «R» обозначает:

- а) восприимчивых особей
- б) инфицированных особей
- в) выздоровевших (удалённых) особей
- г) репродуктивное число

Ответ: в

5. Клеточный автомат «Игра жизни» Конвея является примером:

- а) детерминированного клеточного автомата с простыми правилами
- б) стохастической агентной модели
- в) непрерывной пространственной модели
- г) системы обыкновенных дифференциальных уравнений

Ответ: а

6. Логистическая модель роста популяции отличается от экспоненциальной наличием:

- а) внутривидовой конкуренции
- б) межвидовой конкуренции
- в) хищничества
- г) стохастического члена

Ответ: а

7. Метод tau-learning применяют, когда:

- а) число молекул всех реагентов очень мало
- б) система находится в состоянии равновесия
- в) число реагирующих молекул велико, и за один шаг происходит много реакций
- г) все реакции являются обратимыми

Ответ: в

8. Базовое репродуктивное число R_0 для инфекционного заболевания определяется как:

- а) общее число переболевших особей
- б) среднее число вторичных заражений от одного инфицированного в полностью восприимчивой популяции
- в) доля восприимчивых особей в популяции
- г) период времени, в течение которого инфицированный заразен

Ответ: б

9. Библиотека Mesa в Python предназначена для:

- а) статистического анализа экологических данных
- б) решения дифференциальных уравнений
- в) агент-ориентированного моделирования
- г) филогенетического анализа

Ответ: в

10. Стационарное состояние логистической модели при $N = 0$ является:

- а) устойчивым
- б) неустойчивым
- в) безразличным
- г) бифуркационным

Ответ: а

Выберите несколько правильных ответов из предложенных.

11. Какие методы используются для решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений?

- а) метод Эйлера
- б) метод Рунге–Кутты
- в) метод Гиллеспи
- г) метод конечных разностей

Ответ: а, б, г

12. Какие модели относятся к пространственным моделям в биологии?

- а) клеточные автоматы
- б) агент-ориентированные модели
- в) модели с запаздыванием
- г) реакции-диффузии

Ответ: а, б, г

13. Какие параметры влияют на устойчивость стационарной точки в модели «хищник–жертва» Лотки–Вольтерры?

- а) коэффициент роста жертвы
- б) коэффициент смертности хищника
- в) коэффициент конкуренции
- г) коэффициент захвата жертвы

Ответ: а, б, г

Установите правильную последовательность.

14. Расположите этапы построения математической модели в правильном порядке:

- 1 – формулировка задачи и допущений
- 2 – построение математических уравнений
- 3 – выбор численного метода
- 4 – реализация на компьютере
- 5 – верификация и валидация

Ответ: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5$

15. Установите последовательность шагов прямого метода Гиллеспи:

- 1 – расчёт суммарной propensity
- 2 – генерация времени до следующей реакции
- 3 – выбор типа реакции
- 4 – обновление состояния системы

Ответ: $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$

Вариант 2

Выберите один правильный ответ из четырёх предложенных.

1. Какое расширение файлов обычно ассоциируется с проектами RStudio?

- а) .py
- б) .Rproj
- в) .ipynb
- г) .m

Ответ: б

2. В модели Лотки–Вольтерры «хищник–жертва» параметр b обозначает:

- а) рождаемость жертвы
- б) смертность жертвы
- в) эффективность захвата жертвы хищником
- г) скорость размножения хищника

Ответ: в

3. Что такое фазовый портрет динамической системы?

- а) график зависимости одной переменной от другой
- б) график зависимости переменной от времени
- в) график зависимости параметров системы
- г) график устойчивости стационарных точек

Ответ: а

4. В модели SIR параметр γ (гамма) обозначает:

- а) скорость заражения
- б) скорость выздоровления
- в) скорость рождения

г) скорость умирания

Ответ: б

5. Агент-ориентированное моделирование позволяет:
- а) учитывать гетерогенность особей и их взаимодействия
 - б) решать системы ОДУ высокой размерности
 - в) строить филогенетические деревья
 - г) проводить статистический анализ данных

Ответ: а

6. Критерий устойчивости стационарного состояния по Ляпунову определяет, что:
- а) любое начальное условие приводит к одному и тому же состоянию
 - б) малые возмущения затухают со временем
 - в) система не имеет стационарных состояний
 - г) фазовый портрет является замкнутым

Ответ: б

7. В модели Мальтуса численность популяции растёт:
- а) линейно
 - б) экспоненциально
 - в) логистически
 - г) хаотически

Ответ: б

8. Что такое изоклина в модели конкуренции двух видов?
- а) линия, на которой скорость изменения одной из переменных равна нулю
 - б) линия равной плотности популяции
 - в) траектория системы
 - г) граница устойчивости

Ответ: а

9. Для моделирования ферментативной кинетики часто используют:
- а) уравнение Михаэлиса–Ментен
 - б) уравнение Харди–Вайнберга
 - в) уравнение Лотки–Вольтерры
 - г) уравнение диффузии

Ответ: а

10. Какая модель описывает распространение инфекции с учётом латентного периода?
- а) SIR
 - б) SEIR
 - в) SIS
 - г) SIRS

Ответ: б

Выберите несколько правильных ответов из предложенных.

11. Какие компоненты входят в определение клеточного автомата?
- а) решётка ячеек
 - б) множество состояний
 - в) окрестность
 - г) правило перехода

Ответ: а, б, в, г

12. Какие факторы влияют на точность численного интегрирования ОДУ?
- а) шаг интегрирования
 - б) метод интегрирования
 - в) начальные условия
 - г) параметры системы

Ответ: а, б, г

13. Какие модели используются в эпидемиологии?

- а) SIR
- б) SEIR
- в) модель Лесли
- г) модель Мальтуса

Ответ: а, б

Установите правильную последовательность.

14. Расположите стадии развития эпидемии в модели SIR:

- 1 – пик заболеваемости
- 2 – начальная вспышка
- 3 – угасание
- 4 – выравнивание

Ответ: 2 → 1 → 4 → 3

15. Установите соответствие между типом модели и её характеристикой:

- 1 – детерминированная
- 2 – стохастическая
- 3 – агентная
- а) учитывает случайные флуктуации
- б) описывается ОДУ
- в) моделирует поведение отдельных особей

Ответ: 1–б, 2–а, 3–в

3.2. Ситуационные задачи (краткий ответ)

1. В модели экспоненциального роста популяции начальная численность $N_0 = 10$, коэффициент роста $r = 0,5$. Какова будет численность через 10 единиц времени (аналитическое решение)?

Ответ: 148,4

2. В логистической модели с $K = 100$ и $r = 0,8$ стационарное состояние N^* равно:

Ответ: 100

3. В модели Лотки–Вольтерры параметры: $a = 0,5$, $b = 0,02$, $c = 0,01$, $d = 0,5$. Каковы стационарные значения H и P ?

Ответ: 50 и 25

4. В SIR-модели при $N = 1000$, $\beta = 0,3$, $\gamma = 0,1$ вычислите R_0 .

Ответ: 3

5. В стохастической модели синтеза–распада с $k_1 = 5$, $k_2 = 0,5$ среднее число молекул в стационарном состоянии по детерминированной модели равно:

Ответ: 10

6. В модели конкуренции двух видов $\alpha_{12} = 0,5$, $\alpha_{21} = 0,7$, $K_1 = 200$, $K_2 = 150$. Исход конкуренции: сосуществование или вытеснение?

Ответ: сосуществование

7. В клеточном автомате «лесной пожар» при плотности деревьев $p_{\text{tree}} = 0,3$ пожар, вероятно, не распространится на всю систему. Этот порог называется:

Ответ: порог перколяции

8. В агентной модели движение агента задаётся случайным сдвигом. Какой тип случайности используется?

Ответ: стохастический (броуновское движение)

9. В модели SIR с параметрами $R_0 = 2$, если 50% популяции вакцинированы, будет ли эпидемия?

Ответ: нет ($R_{\text{eff}} < 1$)

10. В численном интегрировании методом Эйлера шаг интегрирования $h = 0,1$. Если уменьшить h в 2 раза, как изменится точность (в первом приближении)?

Ответ: повысится в 2 раза

3.3. Открытые вопросы (краткий ответ)

1. Какой метод используется для стохастического моделирования химических реакций?
Ответ: метод гиллести
2. Как называется модель роста популяции, учитывающая внутривидовую конкуренцию?
Ответ: логистическая
3. Какая модель описывает взаимодействие «хищник–жертва»?
Ответ: лотки-вольтерра
4. В модели SIR какой параметр определяет порог эпидемии?
Ответ: r_0
5. Какой тип моделей учитывает пространственную структуру и дискретное время?
Ответ: клеточные автоматы
6. В каком языке программирования реализован пакет deSolve?
Ответ: r
7. Какой критерий используется для оценки устойчивости стационарной точки?
Ответ: ляпунов
8. Что такое фазовый портрет системы?
Ответ: график траекторий
9. Как называется модель, описывающая рост популяции без ограничений?
Ответ: мальтуса
10. Какой алгоритм позволяет симулировать случайные процессы в биологии?
Ответ: гиллести

3.4. Задания для лабораторных работ (практическая подготовка)

Лабораторная работа № 1. Решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Модели роста популяций

Цель: Освоить численное интегрирование ОДУ с помощью пакета deSolve; изучить поведение экспоненциальной и логистической моделей роста популяции в зависимости от параметров; приобрести навыки визуализации динамических рядов и фазовых портретов.

Оборудование: R, RStudio, пакеты deSolve, ggplot2.

Задание:

1. Установить и загрузить пакет deSolve.
2. Реализовать функцию экспоненциального роста: $dN/dt = r \cdot N$. Проинтегрировать при $N_0 = 10$, $r = 0,5$, $t = [0, 20]$. Построить график. Сравнить с аналитическим решением.
3. Реализовать логистическую модель: $dN/dt = r \cdot N \cdot (1 - N/K)$. При $K = 100$, $r = 0,8$, $N_0 = 5$ и $N_0 = 150$. Построить оба решения на одном графике.
4. Проанализировать влияние параметра r (0,2; 0,8; 1,5) на время достижения равновесия.
5. Оформить отчёт с графиками, уравнениями и выводами.

Критерии выполнения: код корректен, комментарии присутствуют; графики подписаны; выводы отражают влияние параметров.

Лабораторная работа № 2. Модели взаимодействия видов: «хищник–жертва» и конкуренция

Цель: Реализовать классические модели Лотки–Вольтерры и конкуренции двух видов; исследовать фазовые портреты, стационарные состояния и условия устойчивости.

Оборудование: R, RStudio, пакеты deSolve, ggplot2, reshape2.

Задание:

1. Реализовать модель «хищник–жертва»: $dH/dt = a \cdot H - b \cdot H \cdot P$; $dP/dt = c \cdot H \cdot P - d \cdot P$. Параметры: $a = 0,5$, $b = 0,02$, $c = 0,01$, $d = 0,5$; начальные $H_0 = 50$, $P_0 = 10$. Построить временные ряды и фазовый портрет.

2. Исследовать влияние параметра d (0,3 и 0,7) на амплитуду и период колебаний.
3. Реализовать модель конкуренции двух видов: $dN_1/dt = r_1 \cdot N_1 \cdot (1 - (N_1 + \alpha_{12} \cdot N_2)/K_1)$, $dN_2/dt = r_2 \cdot N_2 \cdot (1 - (N_2 + \alpha_{21} \cdot N_1)/K_2)$. Параметры: $r_1 = 0,8$, $r_2 = 0,6$, $K_1 = 200$, $K_2 = 150$. Рассмотреть два случая: $\alpha_{12} = 1,2$, $\alpha_{21} = 0,8$ и $\alpha_{12} = 0,5$, $\alpha_{21} = 0,7$. Определить исход.
4. Оформить отчёт с выводами.

Лабораторная работа № 3. Стохастическое моделирование биохимических реакций методом Гиллеспи

Цель: Понять сущность стохастичности в биохимических системах; освоить прямой метод Гиллеспи с использованием пакета GillespieSSA; сравнить стохастические траектории с детерминированным описанием.

Оборудование: R, RStudio, пакеты GillespieSSA, deSolve, ggplot2.

Задание:

1. Модель синтеза–распада: $\emptyset \rightarrow M$ (k_1), $M \rightarrow \emptyset$ (k_2). Параметры: $k_1 = 5$, $k_2 = 0,5$, начальное $M = 0$. Запустить стохастическую симуляцию на 50 единиц времени. Повторить несколько раз, построить траектории.
2. Сравнить среднее стохастических траекторий с детерминированным решением ОДУ $dM/dt = k_1 - k_2 \cdot M$.
3. Повторить эксперимент с $k_1 = 50$, $k_2 = 5$ (большие числа). Оценить уровень флуктуаций.
4. (Опционально) Реализовать стохастическую модель Михаэлиса–Ментен.
5. Оформить отчёт с графиками и выводами о молекулярном шуме.

Лабораторная работа № 4. Эпидемиологическое моделирование: детерминированная и стохастическая SIR-модель

Цель: Построить классическую SIR-модель; вычислить R_0 ; реализовать стохастический аналог и наблюдать вероятностные исходы эпидемии.

Оборудование: R, RStudio, пакеты deSolve, GillespieSSA, ggplot2.

Задание:

1. Детерминированная SIR-модель: $N = 1000$, $I_0 = 1$, $S_0 = 999$, $R_0 = 0$, $\beta = 0,3$, $\gamma = 0,1$. Проинтегрировать на 150 дней. Построить графики S , I , R . Вычислить R_0 .
2. Исследовать влияние β (0,1; 0,2; 0,3).
3. Стохастическая SIR-модель с помощью GillespieSSA. Запустить несколько реализаций до времени 150. Сравнить усреднённую стохастическую траекторию с детерминированной.
4. Построить гистограмму финального размера эпидемии по 100 реализациям.
5. Оформить выводы о роли стохастичности.

Лабораторная работа № 5. Пространственное моделирование: клеточные автоматы и агент-ориентированные модели

Цель: Познакомиться с дискретными пространственными моделями; реализовать клеточный автомат «лесной пожар» и простую агентную модель движения/взаимодействия особей.

Оборудование: R, RStudio, пакеты ggplot2, gganimate (опционально).

Задание:

1. Клеточный автомат «Лесной пожар»: решётка 50×50 , $p_{\text{tree}} = 0,6$, поджиг левого края. Реализовать правило распространения огня. Запустить на 100 шагов, визуализировать динамику. Провести эксперимент с $p_{\text{tree}} = 0,3$. Оценить долю сгоревшего леса.
2. Агент-ориентированная модель: 50 агентов на поле 100×100 , каждый с энергией. На каждом шаге агент случайно перемещается, взаимодействует с другими (конкуренция), теряет энергию, размножается при избытке энергии. Запустить на 200 шагов, построить график численности.

3. Сравнить подходы: для каких задач удобнее клеточный автомат, для каких – агентная модель.
4. Оформить отчёт с кодом, скриншотами и выводами.

3.5. Вопросы для опроса и собеседования

1. Какие основные допущения лежат в основе модели экспоненциального роста Мальтуса? В каких биологических ситуациях она применима, а в каких – нет?
2. Объясните смысл параметра «ёмкость среды» в логистической модели Ферхюльста. Как этот параметр влияет на динамику популяции?
3. Каковы основные численные методы, используемые для интегрирования систем ОДУ (например, метод Эйлера, Рунге–Кутты)? В чём их принципиальные различия?
4. Что такое фазовый портрет динамической системы и какую информацию он несёт при анализе одновидовой популяционной модели?
5. Как можно оценить устойчивость стационарного состояния в модели с одним дифференциальным уравнением? Приведите пример на основе логистической модели.
6. Опишите классическую модель Лотки–Вольтерры «хищник–жертва». Как интерпретируются все четыре параметра системы?
7. Почему в модели Лотки–Вольтерры возникают незатухающие колебания численностей? Какие биологические факторы не учтены в базовой версии модели?
8. В чём отличие функционального отклика типа I (Lotka–Volterra) от типов II и III? Приведите примеры, какие типы хищников им соответствуют.
9. Как формулируется принцип конкурентного исключения Гаузе? При каких условиях в модели конкуренции двух видов возможно устойчивое сосуществование?
10. Что показывает изоклина нулевого роста в анализе конкурирующих популяций? Как с её помощью определить исход конкуренции?
11. В чём принципиальное отличие стохастических моделей химических реакций от детерминированных? Когда стохастический подход обязателен?
12. Опишите идею прямого метода Гиллеспи. Какие две случайные величины разыгрываются на каждом шаге алгоритма?
13. Что такое tau-leaping и в чём его преимущество перед прямым методом? В каких условиях tau-leaping может давать некорректные результаты?
14. Как в стохастической симуляции ферментативной реакции Михаэлиса–Ментен проявляется внутренний шум при малом числе молекул субстрата?
15. Каким образом можно проверить, что стохастический алгоритм реализован корректно? Сравните поведение средних по ансамблю траекторий с детерминированным решением.
16. Дайте определение базовому репродуктивному числу R_0 . Как оно связано с параметрами модели SIR и порогом возникновения эпидемии?
17. Опишите структуру компартментов модели SIR. Какие допущения заложены в классическую детерминированную версию?
18. В чём разница между детерминированной и стохастической реализацией SIR-модели? Какие новые явления можно наблюдать в стохастической версии при малом размере популяции?
19. Каким образом в модель SEIR добавляется латентный период? Как это влияет на динамику эпидемии и величину R_0 ?
20. Предложите способ численной оценки параметров SIR-модели по реальным эпидемиологическим данным. Какие сложности при этом возникают?
21. Что такое клеточный автомат? Опишите его основные компоненты: решётка, множество состояний, окрестность, правило перехода.
22. Приведите пример биологического процесса, который удобно моделировать с помощью клеточного автомата. Какие ограничения накладывает дискретность пространства и времени?

23. В чём отличие агент-ориентированного подхода от клеточных автоматов? В каких задачах агентные модели предпочтительнее?
24. Каким образом в агентных моделях можно учесть гетерогенность особей (возраст, энергия, генотип)? Приведите пример с использованием библиотеки Mesa.
25. Как провести верификацию пространственной модели (клеточного автомата или агентной) и убедиться, что она адекватно воспроизводит ожидаемую динамику?
26. Что такое метапопуляционная модель Левинса и для каких задач она используется?
27. Как матричные модели Лесли описывают возрастную структуру популяции? Что такое собственное значение матрицы?
28. В чём суть модели «репрессилиатор» и какие динамические режимы она демонстрирует?
29. Какие преимущества даёт использование R Markdown / Jupyter Notebook для воспроизводимости вычислительных экспериментов?
30. Сравните языки R и Python для задач моделирования биосистем: преимущества и ограничения каждого.
31. Что такое анализ чувствительности модели и для чего он нужен? Какие методы используются?
32. Как проводится идентификация параметров модели по экспериментальным данным? Опишите метод наименьших квадратов.
33. Какие существуют подходы к анализу устойчивости стационарных состояний для систем из двух ОДУ?
34. Что такое бифуркация в динамической системе? Приведите пример бифуркации Хопфа.
35. Какие модели с запаздыванием используются в биологии? Приведите пример уравнения Хатчинсона.
36. Как моделируется пространственная диффузия в биологии? Что такое уравнение реакции-диффузии?
37. Как в клеточном автомате можно смоделировать рост опухоли? Какие состояния можно выделить?
38. Какие математические модели используются для описания распространения эпидемий с учётом сети контактов?
39. Как в агентной модели реализовать эволюционные процессы, такие как мутации и отбор?
40. Что такое эволюционно устойчивая стратегия (ESS) и как она моделируется?
41. Какие существуют способы визуализации многомерных результатов моделирования?
42. Как оценить адекватность модели (валидация) при наличии экспериментальных данных?
43. Какие программные платформы для моделирования биосистем существуют (кроме R и Python)?
44. Как в модели Лотки–Вольтерры учесть эффект насыщения хищника (функциональный отклик типа II)?
45. Что такое «эффект бутылочного горлышка» в популяционной генетике и как он моделируется?
46. Как моделируется стохастическая экспрессия генов? Опишите модель случайного включения/выключения промотора.
47. Что такое гибридные (детерминированно-стохастические) модели и когда они применяются?
48. Как в SIR-модели можно учесть демографические процессы (рождение/смерть)?
49. Какие существуют способы оценки эффективной численности популяции?
50. Как моделируется пространственно-временная динамика инфекции в модели с диффузией?
51. Что такое «порог перколяции» и как он проявляется в клеточных автоматах?

52. Как в агентной модели реализовать обучение особей (например, изменение поведения на основе опыта)?
53. Какие математические модели используются для описания динамики конкурирующих видов в экологии?
54. Что такое модель «хищник–жертва» с функциональным откликом Холлинга типа II и как она записывается?
55. Какие методы применяются для численного решения уравнений в частных производных в биологии?
56. Как в модели SIR можно оценить критическую долю вакцинированных для достижения коллективного иммунитета?
57. Что такое модель «хищник–жертва» с интерференцией и когда она применяется?
58. Какие существуют критерии для выбора типа модели (детерминированная, стохастическая, пространственная) при решении конкретной задачи?
59. Как моделируется генетический дрейф в популяциях? Какие математические подходы используются?
60. Какое место занимает моделирование в современной системной биологии и какие задачи оно решает?

3.6. Вопросы к зачёту

1. Понятие математической модели. Классификация моделей биосистем по различным основаниям.
2. Основные этапы построения и исследования математической модели.
3. Модель экспоненциального роста популяции (Мальтус): уравнение, решение, допущения, границы применимости.
4. Логистическая модель роста (Ферхюльст): уравнение, стационарные состояния, их устойчивость.
5. Ёмкость среды и внутривидовая конкуренция в логистической модели: биологический смысл параметров.
6. Модель Лотки–Вольтерры «хищник–жертва»: система уравнений, стационарные точки, тип особых точек.
7. Фазовый портрет системы «хищник–жертва»: как построить, какую информацию даёт.
8. Функциональные отклики хищника: типы I, II, III, их биологический смысл и математическое выражение.
9. Модель конкуренции двух видов (Лотки–Вольтерры–Гаузе): уравнения, изоклины нулевого роста, анализ исходов.
10. Принцип конкурентного исключения Гаузе и условия устойчивого сосуществования в модели конкуренции.
11. Понятие стационарного состояния (равновесия) динамической системы. Устойчивость по Ляпунову: основные идеи.
12. Метод линеаризации для анализа устойчивости стационарных состояний системы двух ОДУ.
13. Бифуркации в биологических моделях: определение, примеры (седло-узловая, Хопфа).
14. Модели с запаздыванием: биологические предпосылки, уравнение Хатчинсона, возникновение колебаний.
15. Численные методы решения ОДУ: метод Эйлера, семейство методов Рунге–Кутты, их точность и устойчивость.
16. Назначение и основные функции пакета deSolve в R.
17. Понятие о стохастических моделях в биологии. Когда применение детерминированных моделей недостаточно?

18. Химический мастер-уравнение (Chemical Master Equation): форма записи, сложность решения для больших систем.
19. Прямой метод Гиллеспи (Direct Method): идея, алгоритм, две случайные величины, разыгрываемые на каждом шаге.
20. Пакет GillespieSSA в R: структура входных данных (матрицы стехиометрии, propensity-функции), запуск симуляции.
21. Приближённые стохастические методы: tau-leaping, их преимущества и условия применимости.
22. Внутренний шум в биохимических системах: причины, проявления на примере экспрессии генов.
23. Сравнение детерминированного и стохастического описания ферментативной реакции Михаэлиса–Ментен.
24. Эпидемиологическая модель SIR: компартменты, система ОДУ, основные допущения.
25. Базовое репродуктивное число R_0 : определение, формула для SIR, пороговое свойство.
26. Расширения модели SIR: SEIR, SIRS, учёт демографии. Как изменяются уравнения?
27. Стохастическая SIR-модель: способы реализации, явление стохастического вымирания инфекции.
28. Финальный размер эпидемии в детерминированной и стохастической SIR-модели: как оценить, от чего зависит.
29. Анализ чувствительности модели: локальный и глобальный подходы, метод Соболя.
30. Идентификация параметров моделей по экспериментальным данным: метод наименьших квадратов, проблема идентифицируемости.
31. Пространственные модели в биологии: зачем нужно учитывать пространство? Примеры биологических явлений.
32. Клеточные автоматы: определение, компоненты (решётка, состояния, окрестность, правило перехода).
33. Пример клеточного автомата «Лесной пожар»: правила, наблюдаемые закономерности, порог перколяции.
34. Моделирование распространения возбудителя или популяции на решётке: клеточные автоматы vs. реакционно-диффузионные уравнения.
35. Агент-ориентированные модели (АОМ): основные принципы, отличие от клеточных автоматов и ОДУ-моделей.
36. Примеры агент-ориентированных моделей в экологии: движение особей, взаимодействие хищник–жертва, эволюционное сотрудничество.
37. Библиотека Mesa в Python: основные классы (Model, Agent, Scheduler), как строится типичная АОМ.
38. Метапопуляционная модель Левинса: понятие метапопуляции, доля занятых патчей, условия существования.
39. Матричные популяционные модели Лесли: возрастная структура, матрица перехода, собственные значения и скорость роста.
40. Модели нейронной динамики: интегрирующий нейрон с утечкой (Leaky Integrate-and-Fire), его стохастический вариант.
41. Гибридные (детерминированно-стохастические) модели: концепция, примеры использования в системной биологии.
42. Верификация и валидация моделей: определения, различие, подходы к проверке адекватности.
43. Визуализация результатов моделирования: фазовые портреты, временные ряды, тепловые карты, анимация.
44. Воспроизводимость вычислительных экспериментов: роль R Markdown / Jupyter Notebook в документировании моделей.

45. Сравнение языков R и Python для задач моделирования биосистем: преимущества и ограничения каждого.
46. Модель «репрессилатор» (repressilator): генетическая сеть, ОДУ, возникновение осцилляций.
47. Модели канцерогенеза: аваскулярный рост опухоли (клеточный автомат/ОДУ), роль мутаций.
48. Эволюционные модели: уравнение репликатора, эволюционно устойчивые стратегии (ESS).
49. Моделирование пространственно-временной динамики эпидемий: включение диффузии или сетевой структуры контактов.
50. Современные направления и программные платформы в моделировании биосистем: обзор (OpenSysBio, BioModels, COPASI).
51. Что такое стохастическое моделирование и чем оно отличается от детерминированного?
52. Опишите алгоритм tau-leaping. В каких случаях его применение предпочтительнее прямого метода Гиллеспи?
53. Как в модели Лотки–Вольтерры учесть внутривидовую конкуренцию у жертвы?
54. Что такое функциональный отклик Холлинга типа III и для каких хищников он характерен?
55. Как моделируется распространение инфекции на сети контактов? Чем это отличается от модели SIR?
56. Какие численные методы используются для решения уравнений в частных производных (например, метода конечных разностей)?
57. Как оценить чувствительность модели к изменению параметров? Приведите примеры.
58. Что такое «эффект основателя» в популяционной генетике и как он моделируется?
59. Как в агентной модели учесть обучение особей (например, изменение поведения на основе опыта)?
60. Какие этические вопросы возникают при моделировании в биологии и медицине?
61. Как моделируется динамика вирусной инфекции внутри клетки?
62. Что такое модель «репликатор–мутатор» и для каких задач она применяется?
63. Как в SIR-модели можно учесть гетерогенность контактов (различная частота контактов у разных возрастных групп)?
64. Какие математические подходы используются для моделирования морфогенеза?
65. Как моделируется диффузия веществ в тканях (уравнение Фика)?
66. Что такое параметрическая идентификация модели и какие методы для этого используются?
67. Как моделируются колебательные процессы в биологии (например, циркадные ритмы)?
68. Какие существуют подходы к моделированию эволюционных игр?
69. Как моделируется рост бактериальной популяции в условиях ограниченного ресурса?
70. Что такое модель «хищник–жертва» с учетом убежища для жертвы?
71. Как моделируется отбор в популяции с несколькими генотипами?
72. Что такое модель «эпидемия на сети» и почему она важна для реальных инфекций?
73. Как моделируется динамика лекарственной устойчивости патогенов?
74. Какие методы применяются для оценки параметров моделей по неполным данным?
75. Как моделируется агрегация организмов (например, стайное поведение)?
76. Что такое модель «хищник–жертва» с насыщением и как она записывается?
77. Как моделируется эволюция вирулентности (способности наносить вред хозяину)?
78. Какие модели используются для описания динамики численности промысловых видов?
79. Как моделируется взаимодействие нескольких видов в трофической сети?
80. Что такое модель «конкуренция за общий ресурс» и как она анализируется?

81. Как моделируется наследственность и изменчивость в популяционной генетике?
82. Что такое модель «генетического дрейфа» и как она реализуется?
83. Как моделируется распространение генетических маркеров в популяции?
84. Какие модели используются для описания эпидемий в условиях вакцинации?
85. Как моделируется поведение сложных экологических систем (например, озерных экосистем)?
86. Что такое модель «хищник–жертва» с возрастной структурой?
87. Как моделируется миграция особей между субпопуляциями?
88. Какие модели используются для изучения устойчивости экосистем к возмущениям?
89. Как моделируется влияние климатических изменений на популяции?
90. Какие современные вызовы стоят перед моделированием биосистем и как они решаются?

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

4.1. Общие положения

Текущий контроль и промежуточная аттестация по дисциплине «Моделирование биосистем» проводятся в соответствии с балльно-рейтинговой системой Университета. Цель оценочных процедур – проверка уровня сформированности компетенций **СПК-2, СПК-3** на различных этапах обучения.

4.2. Формы текущего контроля и их балльная оценка

Форма контроля	Количество за семестр	Максимальный балл за единицу	Максимальный балл за семестр
Опрос/собеседование	2	5	10
Тестирование	2	10	20
Лабораторный практикум	5	10	50
Итого за текущий контроль			80

4.3. Процедура проведения зачёта

Зачёт проводится в период сессии в устной форме. Билет содержит два теоретических вопроса. Время на подготовку – 30 минут. Ответ должен быть полным, аргументированным, с использованием терминологии моделирования биосистем.

Шкала оценивания зачёта

Показатель	Баллы
Отлично (высокий уровень). Студент демонстрирует глубокое и системное знание всех разделов моделирования. Ответы полные, точные, иллюстрируются уравнениями, фазовыми портретами, сравнением подходов. Практическое задание выполнено безупречно. Свободно обсуждает ограничения модели, предлагает модификации.	17–20

Показатель	Баллы
Хорошо (базовый уровень). Студент хорошо владеет материалом, основные понятия излагает верно. В ответах могут присутствовать незначительные неточности. Практическое задание выполнено в целом правильно, но может быть не оптимальным по стилю. Отвечает на большинство дополнительных вопросов.	13–16
Удовлетворительно (пороговый уровень). Студент показывает фрагментарное знание. Ответы коротки, требуют наводящих подсказок. Практическое задание реализовано с недочётами, но даёт правдоподобный результат. Студент способен обсудить лишь основные этапы работы.	9–12
Неудовлетворительно (низкий уровень). Знания отрывочны, содержат грубые ошибки. Студент не может объяснить ключевые концепции. Практическое задание либо не выполнено, либо содержит принципиальные ошибки.	5–8
Крайне неудовлетворительно. Не может дать ни одного теоретического ответа, практическое задание не выполнено.	0–4

Максимальное количество баллов на зачёте – 20.

Итоговая шкала оценивания по дисциплине

Сумма баллов	Оценка
81–100	зачтено
61–80	зачтено
41–60	зачтено
0–40	не зачтено

4.4. Порядок ликвидации академической задолженности

Студенты, набравшие менее 11 баллов текущего контроля или не сдавшие зачёт, проходят пересдачу в порядке, установленном локальными актами Университета. Пересдача включает выполнение дополнительных заданий (повторное тестирование, выполнение пропущенных лабораторных работ, собеседование).

Ключи ко всем заданиям приведены непосредственно в тексте (для тестов, ситуационных задач, открытых вопросов). Для теоретических вопросов (опрос, зачёт) критерии оценивания указаны в разделе 2; преподаватель оценивает полноту и правильность ответа.