

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)**



УТВЕРЖДАЮ
Проректор
по учебно-методической работе

_____ А.А.Панфилов
« 13 » _____ 10 _____ 2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
(наименование дисциплины)

Направление подготовки _____ **Биология 06.04.01**

Программа подготовки _____ **Биотехнология**

Уровень высшего образования _____ **Магистратура**

Форма обучения _____ **Очно-заочная**

Семестр	Трудоём- кость зач. ед, час.	Лек- ции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточного контроля (экз./зачет)
3	2 (72)			8	64	Зачет
Итого	2 (72)			8	64	Зачет

г.Владимир
2015 г.

ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Математические методы в биологии» являются: формирование у обучающихся представлений об общих статистических закономерностях и методах анализа данных в биологии, выработка навыков практического использования полученных знаний. Задачами дисциплины являются: 1) изучение статистических закономерностей 2) изучение методов сбора и анализа данных в биологии 3) исследование различных математических моделей, применимых к биологическим системам 4) изучение вопросов о практическом применении тех или иных математических моделей на примерах конкретных биологических задач.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Курс входит в базовую часть ОПОП. Курс основывается на знаниях, полученных на предметах «Высшая математика», «Физика», «Информатика», «Общая биология», «Общая экология», «Компьютерные технологии в биологии». Необходимы начальные знания статистики, знание алгебры и математического анализа, умение решать дифференциальные уравнения и их системы, умение работать с ПК, в частности с программой «Excel», необходимо также знание разделов общей биологии и экологии, связанных с изучением биосферы, биосистем, биогеоценозов, популяционной динамики и т.п. Знания, получаемые в ходе изучения курса, могут быть использованы в любой дисциплине, часто используются в дипломных работах, связанных с изучением численности тех или иных организмов, а также в биометрическом анализе.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Выпускник, освоивший программу магистратуры, должен обладать следующими общекультурными компетенциями:

способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу (ОК-1);

общефессиональными компетенциями (ОПК): готовностью творчески применять современные компьютерные технологии при сборе, хранении, обработке, анализе и передаче биологической информации для решения профессиональных задач (ОПК-7).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

- 1) **Знать:** Общую схему организации сбора и анализа биологической информации; методы и приемы интерпретации результатов исследования; основы, основные алгоритмы и детали статистического анализа для исследования биологических данных (ОК-1); основы сопоставления особей, популяций и сообществ с использованием показателей сходства; границы применения, теорию и практику использования компонентного анализа; предназначение, вычислительные особенности и систему интерпретации в факторном анализе; использование дискриминантного анализа для изучения популяций, теоретические и вычислительные основы наиболее употребительных вариантов; роль многомерного шкалирования в ряду методов анализа биологической информации; основы

применения регрессионного анализа в биологии и его вычислительные аспекты (ОПК-7).

- 2) **Уметь:** применять математические методы в решении профессиональных биологических задач. (ОПК-7)
- 3) **Владеть:** изученными математическими методами моделирования биологических процессов и информационно-коммуникативными технологиями. (ОПК-7)

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц, 72 часа.

№ п/п	Раздел (тема) дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)						Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра), форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	Контрольные работы	СРС	КП / КР		
1	Математические методы в биологии	3	1					5			
2	Основы биostatистики	3	2					5			
3	Модели биологических систем, описываемые одним дифференциальным уравнением первого порядка. Модели роста популяций.	3	3-4			2		6	1/50%		
4	Регрессионный анализ данных	3	5					6			
5	Линейная парная регрессия	3	6-7					6		Рейтинг-контроль №1	
6	Модели биологических систем, описываемые системами двух автономных дифференциальных уравнений	3	8-9					6			
7	Исследование системы двух автономных обыкновенных линейных дифференциальных уравнений	3	10			2		6	1/50%	Рейтинг-контроль №2	

8	Колебательные процессы в биологии	3	11-13					6			
9	Исследование колебательных процессов	3	15-16			2		6		1/50%	
10	Дисперсионный анализ	3	17					6			
11	Многомерные методы	3	18			2		6		1/50%	Рейтинг-контроль №3
Всего						8		64		4/50% %	Зачет

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В рамках учебного курса сочетается традиционная лекционно-семинарская система обучения с проблемным подходом при изложении и освоении студентами материала, исследовательских методов, применение рейтинговой системы аттестации студентов и использованием современных информационно-коммуникативных технологий. Проблемный подход в изложении используется на лекциях, практических занятиях и в процессе самостоятельной работы студента вне учебных занятий. На лекциях его применение связано с формулировкой проблемной задачи и ее обсуждением перед изложением материала, а также непосредственно в процессе изложения.

Некоторые разделы теоретического курса изучаются с использованием опережающей самостоятельной работы: студенты получают задание на изучение нового материала до его изложения на лекции.

6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Текущий контроль представляет собой проверку усвоения учебного материала, регулярно осуществляемую на протяжении семестра. Он позволяет проводить постоянный мониторинг качества обучения и выявлять степень усвоения знаний студентами. В данном случае, наиболее эффективным методом проверки знаний обучающихся является проведение рейтингов, на которых студентам предлагается решить задачи по пройденным разделам. Данный метод позволяет оценить владение терминологическим аппаратом, понимание сути биологических процессов с математической точки зрения, понимание значений различных моделей, функций и формул, а также их применимость в тех или иных биологических ситуациях. Это позволяет более полно оценить качество подготовки студентов и степень формирования необходимых компетенций.

Рейтинг - контроль знаний студентов

Текущий контроль знаний студентов осуществляется на занятиях при решении поставленных задач.

Рейтинг-контроль №1

а) Рассчитать таблицу значений рисков биологических эффектов $R=f(Prob)$ по пороговой модели согласно формуле:

$$R = \int_{-\infty}^{Prob} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x - X_y)^2}{2\sigma^2}\right) dx, \sigma = 1, X_y = 0$$

№	Prob	R
1	-5,0	R_1
2	-4,9	R_2
3	-4,8	R_3
...	$Prob_i$	R_i
N	+5,0	R_n

б) Для примесей, обладающих рефлекторным действием, в зависимости от класса опасности расчет потенциального риска возможно проводить по уравнениям, где С – концентрация примеси, ПДКМР–норматив, Prob–величина, связанная с риском по закону нормального вероятностного распределения.

1 класс опасности: $Prob = -9,15 + 11,66 * \lg\left(\frac{C}{ПДК_{MP}}\right)$

2 класс опасности: $Prob = -5,51 + 7,49 * \lg\left(\frac{C}{ПДК_{MP}}\right)$

3 класс опасности: $Prob = -2,35 + 3,73 * \lg\left(\frac{C}{ПДК_{MP}}\right)$

4 класс опасности: $Prob = -1,41 + 2,33 * \lg\left(\frac{C}{ПДК_{MP}}\right)$

Рассчитать неканцерогенный риск острых (немедленных) эффектов для средней и максимальной концентрации загрязняющего вещества, обнаруженных в разные годы в атмосферном воздухе г.Владимира.

Необходимые для расчетов нормативы найти в ГН 2.1.6.1338-03.

№	Вещество	Сср, мг/м ³	СИ
1	Взвеш.вещества	0,212	4,8
2	Оксид углерода	1,2	2,2
3	Диоксид азота	0,026	1,1
4	Фенол	0,005	6,0
5	Формальдегид	0,012	3,2
6	Взвеш.вещества	0,165	5,0
7	Оксид углерода	1,6	2,8
8	Диоксид азота	0,022	1,5
9	Фенол	0,005	3,3
10	Формальдегид	0,005	2,4
11	Взвеш.вещества	0,131	5,4
12	Оксид углерода	1,5	2,6
13	Диоксид азота	0,033	2,6
14	Фенол	0,008	9,7
15	Формальдегид	0,014	3,9
16	Взвеш.вещества	0,099	5,2
17	Оксид углерода	2,3	1,6
18	Диоксид азота	0,044	2,8
19	Фенол	0,007	11,3
20	Формальдегид	0,022	7,7

Рейтинг-контроль №2

Построить линейную модель между фактором X и показателем Y:

1. Оформить результаты расчетов в виде таблицы и рассчитать коэффициенты линейной парной регрессии по формулам;
2. Рассчитать коэффициент корреляции и охарактеризовать силу статистической связи;
3. Построить зависимость в StatSoft Statistica, сравнить полученную регрессионную зависимость с расчетной и оценить уровень статистической значимости корреляции;
4. Осуществить точечный прогноз для X_p .

Рассчитать и оформить результаты расчетов в виде таблицы:

№	x	y	Xy	x ²	y ²	yx	y-yx	Ai
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1								
2								
3								
4								
...								
N								
Ср. знач.								
Σ								

Значение фактора X

X0	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
2,06	2,53	2,17	3,65	3,22	2,16	4,57	2,25	6,15	1,86
2,58	3,54	2,90	3,82	3,87	2,65	5,42	2,98	5,66	1,91
3,14	3,84	3,29	3,76	4,95	3,49	5,29	2,15	7,50	2,14
3,54	3,84	4,13	5,24	5,10	3,16	6,33	2,71	6,90	3,39
4,18	4,22	5,25	5,03	5,98	3,85	7,63	3,70	8,31	3,95
4,78	4,81	4,92	5,52	7,28	4,58	7,53	4,59	8,25	4,30
5,11	6,53	5,79	5,62	6,90	5,33	7,73	4,77	9,39	5,10
5,67	5,82	5,87	6,98	7,54	5,89	8,44	5,34	9,73	5,47
6,02	6,43	6,99	6,91	7,91	6,20	9,49	5,45	9,33	5,97
6,65	7,73	7,04	7,95	8,40	6,39	9,18	6,00	10,50	6,16

7,05	8,19	8,14	7,24	8,14	6,95	10,14	6,25	11,10	6,46
7,52	7,65	8,06	9,27	8,76	7,25	9,94	6,79	11,51	6,07
8,03	9,31	8,57	8,46	9,67	7,80	10,92	8,24	12,42	6,71
8,56	9,26	9,45	10,30	10,28	8,47	11,89	8,51	12,40	7,16
9,03	9,86	9,06	10,72	10,59	9,22	11,14	9,15	13,14	8,81

Значения X для прогноза (Xp)

9,52	9,69	10,30	10,05	11,58	9,32	11,73	9,78	12,56	8,07
------	------	-------	-------	-------	------	-------	------	-------	------

Значение показателя Y

Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9
7,24	10,89	16,21	12,11	15,21	16,62	10,22	12,50	19,66	14,87
8,02	11,92	17,75	12,30	15,42	17,63	10,58	13,88	20,53	15,78
9,28	12,45	16,39	13,82	16,44	19,22	12,01	15,16	21,31	16,79
10,12	13,27	18,87	14,84	17,93	19,36	12,84	16,06	22,59	18,03
11,12	14,12	19,60	15,86	18,52	20,52	13,28	16,66	23,27	18,29
12,19	15,23	21,21	16,41	19,80	21,95	15,13	17,65	24,44	19,93
13,01	16,07	21,84	17,80	20,76	22,45	15,84	18,46	25,85	20,32
14,12	17,40	23,00	18,61	21,30	23,56	17,08	19,54	26,74	21,18
15,21	18,68	24,44	19,57	22,25	24,90	17,99	20,58	27,36	22,47
16,29	19,46	25,36	21,26	24,14	25,53	18,32	21,77	28,37	23,47
17,01	20,52	25,54	21,08	24,17	26,11	19,49	22,15	29,22	24,07
18,03	21,32	27,14	22,99	25,66	28,02	20,59	23,80	30,50	25,57
19,19	22,58	27,95	23,43	26,50	28,37	21,35	24,79	31,21	27,07
20,21	23,73	28,99	24,63	27,46	29,48	23,20	25,57	32,56	27,62
21,22	25,02	30,80	25,41	29,02	30,42	24,21	27,18	33,66	28,42

Рейтинг-контроль №3

1. Записать общий вид решения системы дифференциальных уравнений;
2. Определить координаты и тип особой точки системы дифференциальных уравнений.

- Исходные данные

$$\text{№ 1} \begin{cases} \frac{dx}{dt} = -3x + 2y \\ \frac{dy}{dt} = x - 4y \end{cases}$$

$$\text{№10} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = x + 3y \\ \frac{dx}{dt} = -6x - 5y \end{cases}$$

$$\text{№ 2} \begin{cases} \frac{dx}{dt} = y \\ \frac{dx}{dt} = -2x + y \end{cases}$$

$$\text{№ 3} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = 2x + 3y \\ \frac{dy}{dt} = x + 3y \end{cases}$$

$$\text{№ 4} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = 3x - 4y \\ \frac{dy}{dt} = x - 2y \end{cases}$$

$$\text{№ 5} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = x - y \\ \frac{dy}{dt} = 2x - y \end{cases}$$

$$\text{№ 6} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = -3x + 2y \\ \frac{dy}{dt} = -2x - y \end{cases}$$

$$\text{№ 7} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = x + y \\ \frac{dy}{dt} = -2x + 4y \end{cases}$$

$$\text{№ 8} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = 3x - 2y \\ \frac{dy}{dt} = 4x - y \end{cases}$$

$$\text{№ 9} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = 3x \\ \frac{dy}{dt} = 2x + y \end{cases}$$

$$\text{№ 11} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = x \\ \frac{dy}{dt} = -6x - 5y \end{cases}$$

$$\text{№ 12} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = -2x - 5y \\ \frac{dy}{dt} = 2x + 2y \end{cases}$$

$$\text{№ 13} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = 3x + y \\ \frac{dy}{dt} = -x + y \end{cases}$$

$$\text{№ 14} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = 3x - 2y \\ \frac{dy}{dt} = -6x + 4y \end{cases}$$

$$\text{№ 15} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = -2x + y \\ \frac{dy}{dt} = -4x + 2y \end{cases}$$

$$\text{№ 16} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = 3x + 4y \\ \frac{dy}{dt} = 2x + y \end{cases}$$

$$\text{№ 17} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = x \\ \frac{dy}{dt} = y \end{cases}$$

$$\text{№ 18} \begin{cases} \frac{dy}{dt} = 2x - y \\ \frac{dy}{dt} = x \end{cases}$$

Вопросы для самостоятельной работы студентов

1. Виды биологических задач.
 - a) Сравнение и группировка объектов;
 - b) Различение и разделение групп;
 - c) Определение места объекта (группы) в ранее описанной системе (идентификация);
 - d) Взаимосвязи и зависимости; особенности анализа процессов.
2. Множественное сравнение и его особенности.
 - a) Основы дисперсионного анализа;
 - b) Его отличия и преимущества перед попарным сравнением;
 - c) Греколатинский квадрат.
3. Проверка статистических гипотез.

- a) Логика проверки статистических гипотез;
 - b) Критерии согласия;
 - c) Непараметрические критерии;
 - d) Одновыборочные критерии;
 - e) Критерии однородности.
4. Корреляционный анализ.
- a) Анализ системы связей: корреляционные плеяды П.В.Терентьева.
 - b) Графический способ представления и анализа результатов: максимальный корреляционный путь (минимальное покрывающее дерево);
 - c) Сечения корреляционного цилиндра;
 - d) Сравнение корреляционных матриц по уровню и структуре связей.
5. Основы факторного анализа.
- a) Факторы - скрытые переменные.
 - b) Порядок вычислений в центроидном методе.
 - c) Специфика анализа главных компонент.
 - d) Новые переменные - факторы, их использование.
6. Регрессионный анализ.
- a) Планирование регрессионного эксперимента;
 - b) Размах значений независимой переменной, количество и расположение интервалов.
 - c) Общие требования при анализе эмпирических зависимостей
7. Многомерные описания.
- a) Группировка многомерных описаний;
 - b) Принципы дискриминантного анализа;
 - c) Нахождение и использование дискриминантной функции;
 - d) Канонический анализ.
8. Теория вероятностей.
- a) Пространство элементарных событий;
 - b) Операции над событиями;
 - c) Свойства вероятности;
 - d) Условная вероятность;
 - e) Теорема умножения;
 - f) Формула полной вероятности. Формула Байеса;
 - g) Независимые события;
 - h) Случайная величина;
 - i) Функция распределения и ее свойства;

- j) Дискретная случайная величина;
 - к) Свойства функции плотности;
 - l) Логнормальное распределение.
9. Математическая статистика.
- a) Случайная выборка. Свойства выборочных значений;
 - b) Точечное оценивание. Несмещенные оценки;
 - c) Состоятельные оценки. Достаточное условие состоятельности;
 - d) Выборочное среднее, выборочная дисперсия, выборочная медиана;
 - e) Кластерный анализ.
10. Биометрия.
- a) Особенности биометрии
 - b) История развития биометрии;
 - c) Свойство условных биологических единиц наблюдения;
11. Модели биологических систем.
- a) Имитационные модели;
 - b) Модели систем организма;
 - c) Модели водных экосистем;
 - d) Модели продукционного процесса растений.
12. Колебательные процессы.
- a) Колебательные процессы в биологических и химических системах;
 - b) Клеточные циклы;
 - c) Термодинамическая теория структуры, стабильности и флуктуации.

Вопросы к зачёту

- 1) Математическая биология, цели и объекты ее исследования.
- 2) Основные задачи моделирования.
- 3) Специфика моделей живых систем. Понятия сложных, размножающихся и открытых систем.
- 4) Классификация моделей систем.
- 5) Понятие биометрии, ее предмет.
- 6) Применение математико-статистических методов в биологии.
- 7) Основные задачи биометрии при выборе статистической модели.
- 8) Методы биометрии.
- 9) Популяционная динамика.
- 10) Дифференциальные уравнения первого порядка.

- 11) Способы задания случайных величин.
- 12) Виды случайных величин.
- 13) Закон распределения случайной величины.
- 14) Плотность вероятности.
- 15) Интегральный закон, или функция распределения случайной величины.
- 16) Центральная тенденция или центр распределения.
- 17) Доверительный интервал.
- 18) Квантильные оценки погрешности.
- 19) Метод фазового пространства. Понятие фазовой траектории.
- 20) Стационарное состояние системы.
- 21) Модель неограниченного роста.
- 22) Модель ограниченного роста. Емкость экологической ниши.
- 23) Примеры ограниченного роста популяции.
- 24) Популяция с наименьшей критической численностью.
- 25) Обобщенная модель популяции.
- 26) Популяционная динамика, ее предмет.
- 27) Модели роста биологических систем, описываемые одним дифференциальным уравнением первого порядка.
- 28) Основные свойства популяционной динамики лабораторных и природных популяций.
- 29) Регрессионный анализ.
- 30) Виды регрессионных связей.
- 31) Множественная регрессия.
- 32) Линейная парная регрессия.
- 33) Оценка корреляции. Коэффициент корреляции.
- 34) Понятие статистической значимости.
- 35) Система двух автономных обыкновенных линейных дифференциальных уравнений.
- 36) Метод Ляпунова.
- 37) Метод фазовой плоскости.
- 38) Фазовая траектория, ее типы.
- 39) Понятие фазовой точки. Типы особых точек системы.
- 40) Метод изоклин. Уравнение изоклины.
- 41) Типы особых точек – устойчивый и неустойчивый узел.
- 42) Типы особых точек – устойчивый и неустойчивый фокус.
- 43) Нейтрально устойчивая точка – центр.

- 44) Неустойчивая точка – седло.
- 45) Классификация взаимодействий в популяционной динамике.
- 46) Кинетические уравнения Лотки.
- 47) Базовая модель Вольтерра «Хищник – жертва».
- 48) Фазовый и кинетический портреты системы «хищник-жертва».
- 49) Недостатки модели Вольтерра.
- 50) Обобщенная Вольтерровская модель. Гипотезы о компонентах системы.
- 51) Обобщенная Вольтерровская модель взаимодействия двух видов.
- 52) Типы взаимодействий видов.
- 53) Ненулевое стационарное состояние системы численностей обоих видов.
- 54) Задачи популяционной динамики.
- 55) Биологические ритмы.
- 56) Геохимические ритмы.
- 57) Периоды колебаний. Виды колебаний.
- 58) Пример колебательной биохимической реакции – гликолиз.
- 59) Колебания внутриклеточной концентрации кальция.
- 60) Колебания в фотосинтезе.
- 61) Дисперсионный анализ.
- 62) Многомерные методы.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

а) Основная литература:

1. Геронтология in Silico: становление новой дисциплины. Математические модели, анализ данных и вычислительные эксперименты [Эл. рес.]: сборник науч. тр. / под ред. Г. И. Марчука, В. Н. Анисимова, А. А. Романюхи, А. И. Яшина. - 2-е изд. (эл.). - М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. - 535 с. : ил. ISBN 978-5-9963-0787-6.
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996307876.html>
2. Геронтология in Silico: становление новой дисциплины. Математические модели, анализ данных и вычислительные эксперименты [Эл. рес.]: сб. науч. тр. / под ред. Г. И. Марчука, В. Н. Анисимова, А. А. Романюхи, А. И. Яшина.-3-е изд. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015, 538 с.- ISBN 978-5-9963-2565-8.
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785996325658.html>
3. Практический курс дифференциальных уравнений и математического моделирования. Классические и новые методы. Нелинейные математические модели. Симметрия и принципы инвариантности [Эл. рес.]:/ Пер. с англ. И.С. Емельяновой. - 2-е изд., доп. и испр. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. - 332 с. - ISBN 978-5-9221-1377-9.
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922113779.html>

б) Дополнительная литература:

1. Братусь А.С., Новожилов А.С., Платонов А.П. Динамические системы и модели в биологии. [Эл. рес.]: М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 400 с. - ISBN 978-5-9221-1192-8.
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922111928.html>
2. Концептуальные понятия при изучении и постановке научных исследований по моделированию процессов управления в системах : учеб. пособие / К.А. Пупков, Т.Г. Крыжановская. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 87 с.
http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0256.html
3. Рост леса: уровни описания и моделирования: монография / В.Л. Гавриков [Эл. рес.]: Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. - 176 с. - ISBN 978-5-7638-2819-1.
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785763828191.html>

в) Периодические издания:

1. Журнал "Математическое моделирование"
2. Известия Высших учебных заведений. Математика
3. Проблемы прогнозирования
4. Теория вероятностей и её применения
5. Вестник Московского университета. Серия 1. Математика. Механика
6. Дискретная математика

г) Интернет-ресурсы:

- <http://www.biometrica.tomsk.ru/>
- <http://bioinformatics.ru/>
- <http://www.statsoft.ru/>
- <http://orlovs.pp.ru/>
- <http://statexpert.org/>
- <http://www.biophys.msu.ru>
- http://www.pedsovet.info/info/pages/referats/info_00002.htm
- <http://storage.mstuca.ru/jspui/bitstream/123456789/3260/1/00700014950022008000923.pdf>
- http://matematika.phys.msu.ru/files/stud_gen/8/Bogolyubov_OMM_1.pdf
- <http://kineziolog.su/content/sovremennye-metody-issledovaniy-v-biologii>
- <http://www.eduneeed.ru/ededs-522-1.html>

<http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?jrnid=mm&wshow=contents>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ


Обучение по дисциплине «**Математическое моделирование биологических процессов**» осуществляется на базе аудитории 135/1 для проведения лекций и лабораторных занятий, оснащенной переносным мультимедиа-проектором Epson EB-X62, экраном, переносным ноутбуком ACER.


Лабораторное оборудование для проведения лабораторных занятий: весы OHAUS SC-2020, модель рукавного фильтра, модель циклона ЦН-40.


Для самостоятельной работы используются компьютерные классы кафедры и библиотеки с доступом к ресурсам Интернета.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению: 06.04.01 «Биология», программа подготовки «Биотехнология».

Рабочую программу составил доцент каф. биологии и экологии Ширкин Л.А. 
(ФИО, подпись)

Рецензент: директор МАОУ ДПОС г. Владимира «ГИМЦ» Кузьмин А. Ю. 

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры биологии и экологии
Протокол № 5/11 от 13.10.2015 года
Заведующий кафедрой  Т.А.Трифорова
(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии
направления 06.04.01 «Биология»
Протокол № 11/1 от 13.10.2015 года
Председатель комиссии  Т.А.Трифорова
(ФИО, подпись)