

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

«Кемеровский государственный университет»

Институт биологии, экологии и природных ресурсов



**Рабочая программа дисциплины**

**«МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»**

Направление подготовки  
**06.04.01 Биология**

Направленность (профиль) подготовки  
**Физиология человека и животных**

Уровень образования  
**уровень магистратуры**

Программа подготовки  
**академическая магистратура**

Квалификация  
**магистр**

Форма обучения  
**очная**

Кемерово 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 06.04.01 Биология.....	3
2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры .....	4
3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся .....	4
3.1. Объём дисциплины по видам учебных занятий (в часах) .....	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	5
4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах .....	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) .....	6
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	7
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....	8
6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине .....	8
6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы .....	8
6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций.....	10
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины .....	11
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины .....	12
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	12
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем .....	12
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	13
12. Иные сведения и (или) материалы .....	13
12.1. Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья .....	13
12.2. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	13

# **1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 06.04.01 Биология**

В результате освоения ОПОП магистратуры обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

<b>Математическое моделирование биологических процессов</b>		
ОПК-4	способностью самостоятельно анализировать имеющуюся информацию, выявлять фундаментальные проблемы, ставить задачу и выполнять полевые, лабораторные биологические исследования при решении конкретных задач с использованием современной аппаратуры и вычислительных средств, нести ответственность за качество работ и научную достоверность результатов.	<b>Знать:</b> - принципы построения математических моделей. <b>Уметь:</b> - ставить задачу и выполнять лабораторные биологические исследования при решении конкретных задач по направлению подготовки с использованием современной аппаратуры и вычислительных средств; - демонстрировать ответственность за качество выполненной работы и достоверность результатов. <b>Владеть:</b> - методами самостоятельного анализа имеющейся биологической информации.
ОПК-7	готовностью творчески применять современные компьютерные технологии при сборе, хранении, обработке, анализе и передаче биологической информации для решения профессиональных задач.	<b>Знать:</b> - возможности метода математического моделирования как универсального метода формализации знаний независимо от уровня организации моделируемых объектов; - назначение и виды информационных моделей, описывающих реальные объекты или процессы в биологии. <b>Уметь:</b> - строить математические модели (математическая теория) биологических систем. <b>Владеть:</b> - методами математического моделирования для решения профессиональных задач.
ОПК-9	способностью профессионально оформлять, представлять и докла-	<b>Владеть:</b> - основными приемами и спосо-

	давать результаты научно-исследовательских и производственно-технологических работ по утвержденным формам.	бами оформления, представления и интерпретации результатов научно-исследовательских работ и моделирования биологических процессов.
--	--	--

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры**

Дисциплина «Математическое моделирование биологических процессов» относится к базовой части Блока «Дисциплины».

Дисциплина по математическому моделированию дает некоторые базовые знания и представления о возможностях математического моделирования, классификации математических моделей и области их применимости, показать, на какие принципиальные качественные вопросы может ответить математическая модель, в виде которой formalизованы знания о биологическом объекте. Для этого в изучение дисциплины включены основы математического аппарата качественной теории дифференциальных уравнений, которая лежит в основе современной теории сложных систем, теории катастроф, синергетики. На базе этих знаний рассматриваются основные типы (паттерны) временного и пространственного динамического поведения, присущие биологическим системам разного уровня, от биохимических систем внутриклеточного метаболизма, до динамики биологических видов. Возможности математического моделирования иллюстрируются примерами удачных моделей, которые можно считать классическими. Эта часть курса является базовой.

Для освоения дисциплины «Математическое моделирование биологических процессов» необходимы компетенции, сформированные в рамках освоения программы бакалавриата в следующих дисциплинах: «Математика», «Математические методы в биологии», «Биофизика».

Логически дисциплина «Математическое моделирование биологических процессов» связана с рядом дисциплин профессионального цикла направления «Биология», изучается на завершающем этапе обучения в магистратуре и используется при подготовке и написании магистерской диссертации.

Дисциплина изучается в 4 семестре 2-го года обучения в магистратуре.

## **3. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы (3Е), 72 академических часа.

### 3.1. Объём дисциплины по видам учебных занятий (в часах)

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины	72
Контактная работа обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) (всего)	16
Аудиторные занятия (всего)	16
В том числе:	
Практические занятия	6
Лабораторные работы	10
в т.ч. в активной и интерактивной формах	6
Самостоятельная работа	56
В том числе:	
Решение задач	
Подготовка к практическим занятиям	
Вид промежуточного контроля – зачет	

### 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

№ п/п	Раздел дисциплины	Общая трудоёмкость (часах), всего	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости
			Аудиторные учебные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	
1	Введение. Математические модели в биологии	7	2	0	6	Устный опрос
2	Модели биологических систем, описываемые одним дифференциальным уравнением первого порядка	14	2	4	25	Выполнение индивидуальной работы Устный опрос

3	Модели биологических систем, описываемые системой дифференциальных уравнений	15	2	6	25	Выполнение индивидуальной работы Устный опрос
<b>Зачет</b>						
<b>Итого часов</b>		<b>72</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>56</b>	

#### **4.2 Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)**

##### *Содержание практических занятий*

<b>Номер раздела дисциплины</b>	<b>Темы практических занятий</b>
1	Семинар 1. Понятие модели. Объекты, цели и методы моделирования. Модели в разных науках. Компьютерные и математические модели. История первых моделей в биологии. Современная классификация моделей биологических процессов. Регрессионные, имитационные, качественные модели. Принципы имитационного моделирования и примеры моделей. Специфика моделирования живых систем.
2	Семинар 2. Модели, приводящие к одному дифференциальному уравнению. Понятие решения одного автономного дифференциального уравнения. Стационарное состояние (состояние равновесия). Устойчивость состояния равновесия. Методы оценки устойчивости. Решение линейного дифференциального уравнения
3	Семинар 3. Непрерывные модели: экспоненциальный рост, логистический рост, модели с наименьшей критической численностью. Модели с неперекрывающимися поколениями. Дискретное логистическое уравнение. Диаграмма и лестница Ламерлея. Типы решений при разных значениях параметра: монотонные и затухающие решения, циклы, квазистохастическое поведение, вспышки численности. Матричные модели популяций. Влияние запаздывания.

##### *Содержание лабораторных работ*

<b>Номер раздела дисциплины</b>	<b>Темы лабораторных работ</b>
2	1. Составление дифференциального уравнения. Решение линейного дифференциального уравнения общего вида. Стационарное состояние. Устойчивость стационарного состояния. Формула Тейлора. 2. Анализ некоторых моделей роста популяции. Модель Мальтуса. Модель Ферхюльста. Модель проточного культиватора.
3	3. Система двух автономных линейных уравнений дифференциальных уравнений. Их решение. Типы особых точек. 4. Система двух автономных дифференциальных уравнений. Фазовая плоскость. Изоклины. Построение фазовых портретов. 5. Исследование устойчивости стационарных состояний. Модель Вольтерра. Колебательные системы. Модель Брюсселятора.

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

1. Мюррей, Дж. Математическая биология / Дж. Мюррей. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2009. – 776 с.
2. Ризниченко, Г.Ю. Лекции по математическим моделям в биологии / Г.Ю. Ризниченко. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2011. – 560 с.
3. Ризниченко, Г.Ю. Биофизическая динамика производственных процессов / Г.Ю. Ризниченко, А.Б. Рубин. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 464 с.
4. Романовский, Ю.М. Математическое моделирование в биофизике. Введение в теоретическую биофизику / Ю.М. Романовский, Н.В. Степанова, Д.С. Чернавский. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 472 с.
5. Вольтерра, В. Математическая теория борьбы за существование / В. Вольтерра. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2004. – 288 с.

### **Примерные задания для индивидуальной самостоятельной работы МОДЕЛИ:**

**Экспоненциальный рост популяции** (решение уравнения, график временной зависимости для численности)

**Логистический рост** (решение уравнения, график временной зависимости для численности, анализ устойчивости стационарных состояний)

**Модель популяции с наименьшей критической численностью** (график временной зависимости для численности, анализ устойчивости стационарных состояний)

**Дискретное логистическое уравнение. Лестница Ламерая** (построение временной зависимости для численности по графику зависимости, анализ устойчивости положения равновесия)

**Модель Лотки** (модель химической реакции) (определение стационарных состояний, построение главных изоклин, фазового портрета и кинетических кривых)

**Классическая модель Вольтерра «хищник-жертва»** (определение стационарных состояний, построение главных изоклин, фазового портрета и кинетических кривых)

**Модель «хищник-жертва»** (с учетом внутривидовой конкуренции) (определение стационарных состояний, построение главных изоклин, фазового портрета и кинетических кривых)

**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. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

### **6.1. Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине**

п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции (или её части) / и ее формулировка – по желанию	Наименование оценочного средства
1	Раздел 1	<b>ОПК-4.</b> <b>31, 32</b> <b>ОПК-7.</b> <b>31, У1</b> <b>ОПК-9.</b> <b>В1</b>	Зачет (теоретический вопрос)
2	Раздел 2-3	<b>ОПК-4.</b> <b>У1, В1</b> <b>ОПК-7.</b> <b>У2, В1</b> <b>ОПК-9.</b> <b>В1</b>	Зачет (теоретический вопрос и решение задачи)

### **6.2. Типовые контрольные задания или иные материалы**

#### **6.2.1. Зачет**

а) Примерные теоретические вопросы:

- 1) Понятие модели.
- 2) Объекты, цели и методы моделирования.
- 3) Модели в разных науках. Физические и математические модели.
- 4) История первых моделей в биологии.
- 5) Современная классификация моделей биологических процессов: регрессионные, имитационные, качественные модели.
- 6) Специфика моделирования живых систем.
- 7) Стационарное состояние. Формула Тейлора.
- 8) Устойчивость стационарных состояний (случай одного уравнения): понятие об устойчивости, аналитический метод определения типа устойчивости (метод Ляпунова),
- 9) Графический метод определения типа устойчивости стационарного состояния.
- 10) Анализ некоторых моделей роста популяций. Модели Мальтуса. Логистическая модель Ферхюльста. Модель проточного культиватора.
- 11) Исследование устойчивости стационарных состояний нелинейных систем второго порядка. Метод Ляпунова линеаризации систем в окрестности стационарного состояния.
- 12) Модель Вольтерры-Лотки.
- 13) Триггерные системы.

б) критерии оценивания компетенций (результатов)

Оценивается полнота ответа на вопрос, умение приводить практические примеры.

в) описание шкалы оценивания

Оценивание устных ответов проводится по принципу «зачтено» / «не зачтено».

«Зачтено» выставляется в случае, если магистрант полностью ответил на теоретический вопрос и продемонстрировал умение приводить примеры.

«Не зачтено» - в случае схематичного ответа с грубыми ошибками.

### 6.2.2. Решение задач.

а) Примерные задания:

1) Найдите стационарные состояния уравнений:

$$dx/dt - Ax^3 = -Bx$$

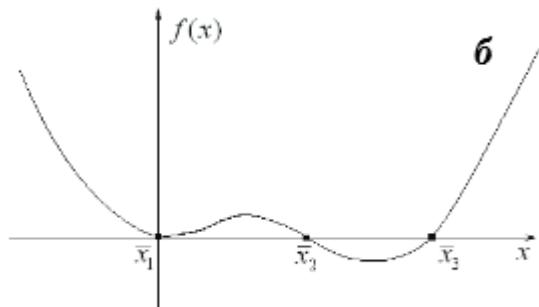
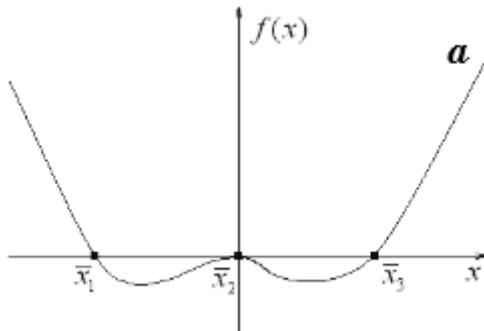
$$dx/dt + 6x = x^2 + 8$$

2) Разложите функцию в ряд Тейлора:

$$f(x) = x^3 + 1; \text{ при } x_0 = 1$$

$$f(x) = \ln(x); \text{ при } x_0 = 1.$$

3) Определите по графику функций устойчивость стационарных состояний.

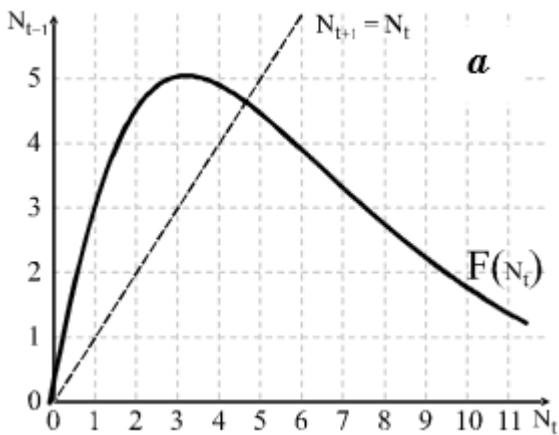


4) Найдите стационарные состояния уравнений, определить тип устойчивости с помощью графика функций:

$$dx/dt = x^2 + 6x + 8;$$

$$dx/dt = x^4 + x^3 - 6x^2.$$

5) С помощью диаграммы Ламерая построить график динамики численности популяции, если зависимость  $N_{t+1} = f(N_t)$  имеет вид:



6) Проведите линеаризацию системы уравнений в окрестности нулевого стационарного состояния и определите его тип устойчивости:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = 2xy - x + y, \\ \frac{dy}{dt} = 5x^4 + y^3 + 2x - 3y; \end{cases}$$

б) критерии оценивания компетенций (результатов):

- полнота решения задачи;
- правильность хода решения задачи.

в) описание шкалы оценивания:

Оценивание задач проводится по принципу «зачтено» / «не зачтено». «Зачтено»: задача полностью и правильно решена или намечен правильный ход ее решения без полных расчетов.

«Не зачтено»: задача не решена.

### **6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций**

Процедура оценивания знаний, умений, навыков по дисциплине «Математическое моделирование биологических процессов» включает учет успешности по всем видам оценочных средств (п. 6.1).

Форма промежуточного контроля по дисциплине (зачет) включает в себя выполнение следующих видов текущего контроля:

№ п/п	Виды текущего контроля	Баллы	Количество	Сумма баллов	Балл в программе БРС
1	Лабораторная работа	0-10	5	50	44
2	Практическое занятие (семинар/лабораторная работа)	0-20	2	40	36
	<b>Итого</b>			<b>90</b>	<b>80</b>
3	<b>Зачет (вопросы + задача)</b>	<b>10</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>20</b>
	<b>Всего</b>			<b>100</b>	<b>100</b>

На практических занятиях, которые проходят в форме семинара, магистранты устно отвечают на вопросы, дополняют ответы товарищей, разбирают непонятные моменты, связанные с математическим моделированием.

На лабораторных занятиях закрепляют теоретический материал с помощью решения предложенных задач. Сначала задачи разбираются с преподавателем, потом каждый магистрант решает их самостоятельно.

К формам контроля относится промежуточная аттестация – зачет. Зачет проводится в два этапа: первый этап включает устный ответ магистранта по вышеприведенным вопросам, второй этап - решение предложенного практического задания, представленного в пункте 6.2.

### ***Критерии оценки знаний при сдаче зачета***

«**Зачтено**» ставится магистранту при выполнении следующих условий:

- правильном, полном, логично построенном ответе на теоретический вопрос;
- правильном решении задачи.

Студент освобождается от сдачи зачета при наборе в текущей успеваемости не менее 51 балла.

«**Не зачтено**» - при:

- схематичном ответе;
- нерешенной задаче.

Студенты, не посещающие занятия отвечают на 1 теоретический вопрос и решают задачу билета. Кроме того, они должны выполнить самостоятельно индивидуальное задание, включающее задачи, которые решались в течение семестра.

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### **a) основная литература:**

1. Голубева, Н.В. Математическое моделирование систем и процессов. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2016. — 192 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/76825> — Загл. с экрана.

2. Андреева, Е.А. Оптимальное управление биологическими сообществами : учебное пособие / Е.А. Андреева, Н.А. Шилова ; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», Министерство образования и науки Российской Федерации. - Архангельск : ИД САФУ, 2014. - 241 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-261-00880-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=312265>

### **b) дополнительная литература:**

1. Братусь, А.С. Динамические системы и модели биологии. [Электронный ресурс] / А.С. Братусь, А.С. Новожилов, А.П. Платонов. — Электрон.

дан. — М. : Физматлит, 2009. — 400 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2119> — Загл. с экрана.

2. Юдович, В.И. Математические модели естественных наук [Электронный ресурс] : учебное пособие. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2011. — 336 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=689](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=689)

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее - сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины**

1. Информационная система "Динамические модели в биологии" / Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, биологический факультет, [кафедра биофизики](http://www.dmb.biophys.msu.ru/). - <http://www.dmb.biophys.msu.ru/> (дата обращения: февраль 2015)
2. Ризниченко Г.Ю. Математическое моделирование в биологии. – Биология Математическая – Популяционная динамика – Экология математическая. - <http://www.library.biophys.msu.ru/MathMod/> (дата обращения: февраль 2015)
3. Учебные материалы (техническая библиотека). Факультет молекулярной и биологической физики МФТИ. - <http://bio.fizteh.ru/student/files/> (дата обращения: февраль 2015).

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

<b>Вид учебных занятий</b>	<b>Организация деятельности студента</b>
<b>Практическое занятие</b>	Проработка учебной литературы, уделяя внимание предложенным вопросам выносимым на обсуждение. Конспектирование источников. Работа с интернет источниками, подготовка ответов на вопросы.
<b>Лабораторное занятие</b>	Решение практических задач, разбор классических математических моделей. Решение дифференциальных уравнений, построение графиков функций.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

1. Организация взаимодействия с магистрантами посредством электронной почты (решение организационных вопросов и консультирование посредством электронной почты).
2. Использование интерактивной доски и проектора при проведении семинарских занятий.
3. Большая часть семинарских занятий проводится в активной и интерактивной форме: применяются образовательные технологии, направленные на приобретения навыков самостоятельной работы, развития творческого мыш-

ления, умение синтезировать полученные знания и применять их в решении практических задач. Это: дискуссии, дебаты, проблемные семинары (п.12.2)

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Минимально необходимый для реализации модуля дисциплины перечень материально-технического обеспечения включает в себя *аудиторию для практических и лабораторных занятий на 15 посадочных мест с компьютером, мультимедийным проектором и экраном.*

Для выполнения лабораторных работ необходим компьютерный класс с соответствующим программным обеспечением и выходом в сеть интернет.

## **12. Иные сведения и (или) материалы**

### **12.1. Особенности реализации дисциплины для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

Для осуществления процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья устанавливаются адаптированные формы проведения с учетом индивидуальных психофизиологических особенностей: для лиц с нарушением зрения задания предлагаются с укрупненным шрифтом, для лиц с нарушением слуха – оценочные средства предоставляются в письменной форме с возможностью замены устного ответа на письменный, для лиц с нарушением опорно-двигательного аппарата двигательные формы оценочных средств заменяются на письменные/устные с исключением двигательной активности. При необходимости студенту-инвалиду предоставляется дополнительное время для выполнения задания. При выполнении заданий для всех групп лиц с ограниченными возможностями здоровья допускается присутствие индивидуального помощника-сопровождающего для оказания технической помощи в оформлении результатов проверки сформированности компетенций.

### **12.2. Перечень образовательных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

#### **12.2.1. Семинарские занятия**

Цель семинара – углублять, расширять, детализировать знания, полученные из специальной литературы и лекций. Они развивают научное мышление и речь, позволяют проверить знания студентов.

Задачи, которые решает семинар:

- 1) развитие творческого профессионального мышления;
- 2) познавательная мотивация;
- 3) овладение языком науки, навыки оперирования понятиями;

- 4) овладение умениями и навыками постановки и решения интеллектуальных проблем и задач, опровержения, отстаивания своей точки зрения;
- 5) повторение и закрепление знаний;
- 6) контроль;
- 7) педагогическое общение.

Планы семинарских занятий, их тематика, рекомендуемая литература, цель и задачи ее изучения сообщаются преподавателем на вводных занятиях.

Составитель:      Булатова О.В., к.б.н., доцент кафедры физиологии человека и безопасности жизнедеятельности

---