

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шитиков Александр Васильевич
Должность: директор института агробиотехнологий
Дата подписания: 17.11.2023 13:34:35
Уникальный программный ключ:
fcd01ecb1fd176898cc511245ad12c37716cc658



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»
(ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева)

Институт агробиотехнологий
Кафедра биотехнологии

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. директора Института
агробиотехнологий



Белопухов С.Л.
2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.О.08 «СИСТЕМНАЯ БИОЛОГИЯ»

для подготовки магистров

ФГОС ВО 3++

Направление: 19.04.01 – Биотехнология

Направленность: Биоинженерия и бионанотехнологии

Курс 1, 2

Семестр 1, 2, 3

Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 2022

Москва, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	5
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ	5
3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ11	
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	11
4.1 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ	11
ПО СЕМЕСТРАМ	11
4.2 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	12
4.3 ЛЕКЦИИ, ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	17
5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	24
6. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....	24
6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности.....	24
6.2. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания	31
7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	32
7.1 Основная литература	32
7.2 Дополнительная литература.....	32
7.3 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям.....	32
8. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	32
9. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ	33
Виды и формы отработки пропущенных занятий.....	34
10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	34

АННОТАЦИЯ

рабочей программы учебной дисциплины Б1.О.8 «Системная биология» для подготовки магистров по направлению 19.04.01 «Биотехнология», направленность «Биоинженерия и бионанотехнологии»

Цель освоения дисциплины: освоение студентами теоретических знаний и практических навыков в области современной системной биологии, принципов использования методов системной биологии для решения современных задач сельского хозяйства, медицины и др.; критического анализа проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработки стратегий действий; анализа, обобщения и использования фундаментальных и прикладных знаний в области биотехнологии для решения существующих и новых задач в профессиональной области; использования специализированного программного обеспечения, баз данных, адаптации известных программных продуктов, элементов искусственного интеллекта для решения задач профессиональной деятельности; выбора и использования современных инструментальных методов и технологий, освоения новых методов и техники исследований для решения конкретных задач профессиональной деятельности; представления результатов профессиональной деятельности на русском и иностранном языках в виде научных докладов, отчетов, обзоров и публикаций с использованием современных информационных технологий.

Место дисциплины в учебном плане: дисциплина включена в обязательную часть учебного плана по направлению подготовки 19.04.01 – Биотехнология.

Требования к результатам освоения дисциплины: в результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции: УК-1, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-4, ОПК-7.

Краткое содержание дисциплины: Курс «Системная биология» предназначен для изучения студентами магистратуры современной системной биологии, а также возможностей применения знаний с целью изучения фундаментальных принципов жизни и возможностей улучшения их признаков и свойств живых объектов. Дисциплина имеет теоретическую и практико-ориентированную направленность.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Системная биология» являются «Методологические основы исследований в биотехнологии», «Методы моделирования биотехнологических процессов», «Клеточная инженерия», «Генная инженерия». Дисциплина «Системная биология» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Молекулярная генетика», «Биоинформатика», «Прикладная биотехнология», «Основы коммерциализации технологических достижений».

Общая трудоемкость дисциплины/в т.ч. практическая подготовка: 216 (6 зач.ед.) / 0

Промежуточный контроль: зачет (1 и 2 семестр), экзамен (3 семестр).

1. Цель освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Системная биология» является освоение студентами теоретических знаний в области современной системной биологии, принципов использования методов системной биологии для решения современных задач сельского хозяйства, медицины и др.; критического анализа проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработки стратегий действий; анализа, обобщения и использования фундаментальных и прикладных знаний в области биотехнологии для решения существующих и новых задач в профессиональной области; использования специализированного программного обеспечения, баз данных, адаптации известных программных продуктов, элементов искусственного интеллекта для решения задач профессиональной деятельности; выбора и использования современных инструментальных методов и технологий, освоения новых методов и техники исследований для решения конкретных задач профессиональной деятельности; представления результатов профессиональной деятельности на русском и иностранном языках в виде научных докладов, отчетов, обзоров и публикаций с использованием современных информационных технологий.

Цель дисциплины соотносится с общими целями основной профессиональной образовательной программы (ОПОП ВО) по направлению 19.04.01 – Биотехнология, в рамках которого изучается данная дисциплина.

2. Место дисциплины в учебном процессе

Дисциплина «Системная биология» включена в обязательную часть учебного плана. Дисциплина «Системная биология» реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОПОП ВО и Учебного плана по направлению 19.04.01 – Биотехнология.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Системная биология» являются «Методологические основы исследований в биотехнологии», «Методы моделирования биотехнологических процессов», «Клеточная инженерия», «Генная инженерия».

Дисциплина «Системная биология» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Молекулярная генетика», «Биоинформатика», «Прикладная биотехнология», «Основы коммерциализации технологических достижений».

Особенностью дисциплины является фундаментальный подход к практической реализации целей освоения дисциплины, охватывающий широкий спектр теоретических знаний и практических навыков.

Рабочая программа дисциплины «Системная биология» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

Требования к результатам освоения учебной дисциплины

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций (для 3++)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
1.	УК-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий	УК-1.1 Знает методы критического анализа и оценки современных научных достижений, основные принципы критического анализа	методы критического анализа и оценки современных научных достижений, основные принципы критического анализа	выявлять и анализировать проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними	навыками поиска вариантов решения выявленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации, определения в рамках выбранного решения вопросов (задач), подлежащих дальнейшей разработке, и обосновывания выбора
2.			УК-1.2 Выявляет и анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними	методы критического анализа и оценки современных научных достижений, основные принципы критического анализа	выявлять и анализировать проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними	навыками поиска вариантов решения выявленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации, определения в рамках выбранного решения вопросов (задач), подлежащих дальнейшей разработке, и обосновывания выбора
3.			УК-1.3 Осуществляет поиск вариантов решения выявленной проблемной ситуа-	методы критического анализа и оценки современных научных достижений, основные прин-	выявлять и анализировать проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и	навыками поиска вариантов решения выявленной проблемной ситуации на основе до-

6

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций (для 3++)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
			ции на основе доступных источников информации. Определяет в рамках выбранного решения вопросы (задачи), подлежащие дальнейшей разработке, и обосновывает его выбор. Предлагает способы их решения	ципы критического анализа	связи между ними	ступных источников информации, определения в рамках выбранного решения вопросов (задач), подлежащих дальнейшей разработке, и обосновывания выбора
4.			УК-1.4 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них, оценивая их влияние на окружающий мир	методы критического анализа и оценки современных научных достижений, основные принципы критического анализа	выявлять и анализировать проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними	навыками разработки стратегии достижения поставленной цели как последовательность шагов
5.	ОПК-1	Способен анализировать, обобщать и использовать фундаментальные и прикладные знания в области биотехнологии для решения существующих и новых задач в профессиональной области	ОПК-1.1 Знает современные актуальные проблемы, основные открытия и методологические разработки в области биологических и смежных наук	современные актуальные проблемы, основные открытия и методологические разработки в области биологических и смежных наук	анализировать тенденции развития научных исследований и практических разработок в избранной сфере профессиональной деятельности, способен формулировать инновационные предложения для решения нестандартных задач, используя углуб-	навыком деловых коммуникаций в междисциплинарной аудитории, представления и обсуждения предлагаемых решений

7

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций (для 3++)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
					ленную общенаучную и методическую специальную подготовку	
6.			ОПК-1.2 Умеет анализировать тенденции развития научных исследований и практических разработок в избранной сфере профессиональной деятельности, способен формулировать инновационные предложения для решения нестандартных задач, используя углубленную общенаучную и методическую специальную подготовку	современные актуальные проблемы, основные открытия и методические разработки в области биологических и смежных наук	анализировать тенденции развития научных исследований и практических разработок в избранной сфере профессиональной деятельности, способен формулировать инновационные предложения для решения нестандартных задач, используя углубленную общенаучную и методическую специальную подготовку	навыком деловых коммуникаций в междисциплинарной аудитории, представления и обсуждения предлагаемых решений
7.			ОПК-1.3 Владеет навыком деловых коммуникаций в междисциплинарной аудитории, представления и обсуждения предлагаемых решений	современные актуальные проблемы, основные открытия и методические разработки в области биологических и смежных наук	анализировать тенденции развития научных исследований и практических разработок в избранной сфере профессиональной деятельности, способен формулировать инновационные предложения для решения нестандартных за-	навыком деловых коммуникаций в междисциплинарной аудитории, представления и обсуждения предлагаемых решений

8

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций (для 3++)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
					дач, используя углубленную общенаучную и методическую специальную подготовку	
8.	ОПК-2	Способен использовать специализированное программное обеспечение, базы данных, адаптировать известные программные продукты, элементы искусственного интеллекта для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-2.2 Умеет работать с профессиональными базами и банками данных в избранной области профессиональной деятельности	пути и перспективы применения современных компьютерных технологий в биологических науках и образовании	работать с профессиональными базами и банками данных в избранной области профессиональной деятельности	необходимым математическим аппаратом и навыками анализа и хранения электронных изображений, имеет опыт модификации компьютерных технологий в целях профессиональных исследований
9.			ОПК-2.3 Владеет необходимым математическим аппаратом и навыками анализа и хранения электронных изображений, имеет опыт модификации компьютерных технологий в целях профессиональных исследований	пути и перспективы применения современных компьютерных технологий в биологических науках и образовании	работать с профессиональными базами и банками данных в избранной области профессиональной деятельности	необходимым математическим аппаратом и навыками анализа и хранения электронных изображений, имеет опыт модификации компьютерных технологий в целях профессиональных исследований
10.	ОПК-4	Способен выбирать и использовать современные инструментальные методы и технологии, осваивать новые методы и технику	ОПК-4.1 Знает современные методы, технологии и оборудование для лабораторных исследований в области профессиональной дея-	современные методы, технологии и оборудование для лабораторных исследований в области профессиональной дея-	использовать современные методы, технологии и оборудование для исследований в области профессиональной дея-	способностью творчески модифицировать технические средства для решения инновационных задач в про-

9

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции (или её части)	Индикаторы компетенций (для 3++)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
11.		исследований для решения конкретных задач профессиональной деятельности	ний в области профессиональной деятельности	тельности	тельности	фессиональной деятельности
			ОПК-4.3 Владеет способностью творчески модифицировать технические средства для решения инновационных задач в профессиональной деятельности	современные методы, технологии и оборудование для лабораторных исследований в области профессиональной деятельности	использовать современные методы, технологии и оборудование для исследований в области профессиональной деятельности	способностью творчески модифицировать технические средства для решения инновационных задач в профессиональной деятельности
12.	ОПК-7	Способен представлять результаты профессиональной деятельности на русском и иностранном языках в виде научных докладов, отчетов, обзоров и публикаций с использованием современных информационных технологий	ОПК-7.3 Владеет методами анализа достоверности и оценки перспективности результатов проведенных экспериментов и наблюдений; опытом обобщения и анализа научной и научно-технической информации; опытом представления полученных результатов в виде докладов и публикаций	основные источники и методы получения профессиональной информации, направления научных исследований	выявлять перспективные проблемы и формулировать принципы решения актуальных научно-исследовательских задач на основе использования комплексной информации, в том числе на стыке областей знания	методами анализа достоверности и оценки перспективности результатов проведенных экспериментов и наблюдений; опытом обобщения и анализа научной и научно-технической информации; опытом представления полученных результатов в виде докладов и публикаций

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся компетенций, представленных в таблице 1.

4. Структура и содержание дисциплины

4.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 6 зач. ед. (216 часов), их распределение по видам работ семестрам представлено в таблице 2.

Таблица 2

Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость			
	час. всего/*	В т.ч. по семестрам		
		№ 1	№ 2	№ 3
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	216/0	72/0	72/0	72/0
1. Контактная работа:	140,9/0	44,25/0	50,25/0	46,4/0
Аудиторная работа	140,9/0	44,25/0	50,25/0	46,4/0
<i>в том числе:</i>				
лекции (Л)	44	14	16	14
практические занятия (ПЗ)	92/0	30/0	32/0	30/0
курсовая работа (КР) (консультация, защита)	2	-	2	-
консультации перед экзаменом	2	-	-	2
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	0,9	0,25	0,25	0,4
2. Самостоятельная работа (СРС)	50,5	27,75	21,75	1
курсовая работа (КР) (подготовка)	9	-	9	-
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам и т.д.)	23,5	18,75	3,75	1
Подготовка к экзамену (контроль)	24,6	-	-	24,6
Подготовка к зачёту (контроль)	18	9	9	-
Вид промежуточного контроля:	Экзамен, защита КР			

* в том числе практическая подготовка

4.2 Содержание дисциплины

Таблица 3

Тематический план учебной дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплин (укрупнённо)	Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа СР
		Л	ПЗ/С всего/*	ПКР	
Раздел 1 «Основы теории систем»	62,75	14	30	-	18,75
Тема 1.1. Цели и целеполагание	8,75	2	4	-	2,75
Тема 1.2. Объект, модель, система	11	2	6	-	3
Тема 1.3. Свойства и их измерения. Измерительные шкалы.	9	2	4	-	3
Тема 1.4. Конструктивные свойства систем.	8	2	4	-	2
Тема 1.5. Функциональные свойства систем	8	2	4	-	2
Тема 1.6. Общесистемные закономерности	9	2	4	-	3
Тема 1.7. Классификация систем	9	2	4	-	3
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	0,25	-	-	0,25	-
подготовка к зачету (контроль)	9	-	-	-	9
Всего за 1 семестр	72	14	30	0,25	27,75
Раздел 2 «Принципы системной биологии»					
Тема 2.1 Концептуальные проблемы в теоретических основах системной биологии	6,5	2	4	-	0,5
Тема 2.2 Интегративный подход к биологии, организмам и раку	6,5	2	4	-	0,5
Тема 2.3 Концептуальные проблемы системного подхода к пониманию клеточной дифференцировки	6,5	2	4	-	0,5
Тема 2.4 Математическое моделирование в изучении организмов и их частей. Поиск параметров системы	6,5	2	4	-	0,5
Тема 2.5 Обратные задачи системной биологии	6,25	2	4	-	0,25
Тема 2.6 Системно-биологический подход и математическое моделирование для анализа переключения фазового пространства во время эпителиально-мезенхимального перехода	6,5	2	4	-	0,5
Тема 2.7 Оценка параметров в фазово-пространственной реконструкции судьбы клетки: подход системной биологии	6,5	2	4	-	0,5
Тема 2.8 Теоретические модели и снижение сложности биохимических и генетических реакций	6,5	2	4	-	0,5
курсовая работа (КР) (консультация, защита)	2	-	-	2	-
курсовая работа (КР) (подготовка)	9	-	-	-	9
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	0,25	-	-	0,25	-
подготовка к зачету (контроль)	9	-	-	-	9
Всего за 2 семестр	72	16	32	2,25	21,75
Раздел 3 «Инструментарий системной биологии»					

Наименование разделов и тем дисциплин (укрупненно)	Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа СР
		Л	ПЗ/С всего/*	ПКР	
Тема 3.1. Системно-биологическое моделирование нелинейной динамики рака. Эндогенная молекулярно-клеточная сетевая теория рака: подход системной биологии	9	2	6	-	1
Тема 3.2. Сетевой интегративный рабочий процесс для раскрытия механизмов, лежащих в основе прогрессирования заболевания	6	2	4	-	-
Тема 3.3. Пространственно-временной флуктуационный анализ законов молекулярной диффузии в мембранах живых клеток	6	2	4	-	-
Тема 3.4. Метод межвидовой визуализации и анализа данных о последовательности РНК	6	2	4	-	-
Тема 3.5. Мультиагентное моделирование поведения населения	6	2	4	-	-
Тема 3.6. Метабономика: вызовы и возможности системной биологии	6	2	4	-	-
Тема 3.7. Гипотезы системной биологии, проверенные in vivo: необходимость совершенствования инструментов молекулярной визуализации	6	2	4	-	-
консультации перед экзаменом	2	-	-	2	-
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)	0,4	-	-	0,4	-
подготовка к экзамену (контроль)	24,6	-	-	-	24,6
Всего за 3 семестр	72	14	30	2,4	25,6
Итого по дисциплине	216	44	92	4,9	75,1

* в том числе практическая подготовка

Раздел 1. Основы теории систем

Тема 1.1. Цели и целеполагание

От потребности к цели. Использование критериев в целеполагании. Трудности целеполагания. Требования к цели.

Тема 1.2. Объект, модель, система

Модели объекта. Связь объекта с окружающей средой. Объект и система. Выделение системы. Система как совокупность элементов.

Тема 1.3. Свойства и их измерения. Измерительные шкалы

Понятие свойства. Измерения и шкалы. Шкалы наименований. Порядковые шкалы. Шкалы интервалов. Шкалы разностей. Шкалы отношений. Абсолютные шкалы. Шкалирование.

Тема 1.4. Конструктивные свойства систем

Элементы системы. Связи. Структуры систем.

Тема 1.5. Функциональные свойства систем

Система как средство достижения цели. Состояние системы и его оценка. Статические и динамические системы. Состояния и свойства динамических систем. Статические характеристики системы. Функция системы. Динамические характеристики систем. Элементарные динамические звенья. Пространство состояний. Устойчивость динамических систем.

Тема 1.6. Общесистемные закономерности

Закономерности взаимодействия части и целого. Закономерность иерархичности. Энтропийные закономерности. Закономерности развития. Другие общесистемные закономерности.

Тема 1.7. Классификации систем

Классификация по происхождению. Классификация по объективности существования. Классификация по природе систем. Централизованные и децентрализованные системы. Классификация по размерности. Классификация систем по однородности и разнообразию структурных элементов. Линейные и нелинейные системы. Непрерывные и дискретные системы. Каузальные и целеактивные системы. Большие и сложные системы. Детерминированные и стохастические системы. Классификация систем по степени организованности.

Раздел 2 «Принципы системной биологии»

Тема 2.1 Концептуальные проблемы в теоретических основах системной биологии

Механизмы и биологический атомизм. Реляционная онтология для системной биологии. Внутренние свойства как реляционные свойства. Реляционные свойства, ограничивающие поведение частей. Отношение биологических контекстов.

Тема 2.2 Интегративный подход к биологии, организмам и раку

Происхождение теории организмов (клеточная теория, основополагающие принципы, формирование набора принципов, роль состояния по умолчанию, роль ограничений, математическое моделирование в теории организмов). Новая теория рака, теория поля организации ткани (теория организмов, TOFT, органогенез и моделирование на основе биологических принципов).

Тема 2.3 Концептуальные проблемы системного подхода к пониманию клеточной дифференцировки

Классификация. Временная динамика, стабильность и изменения. Энергия стабильности. Энергия изменения.

Тема 2.4 Математическое моделирование в изучении организмов и их частей. Поиск параметров системы

Параметры и состояния (параметры, пространство состояний). Уравне-

ния. Инварианты и симметрии. Теоретические принципы. Создание моделей. Анализ моделей (аналитические методы, численные методы – симуляции). Небрежность и перенасыщение – скрытые риски. Синтез. «Субъективное» суждение.

Тема 2.5 Обратные задачи системной биологии

Обоснование системной биологии и обратных задач. Формулирование прямой модели. Идентифицируемость, наблюдаемость. Обратная проблема. Информационная матрица Фишера. Прямая модель. Идентифицируемость. Обратная модель. Обратная бифуркация. Детерминистские решения. Концепции бифуркации. Анализ линейной стабильности. Использование системы двух нелинейных уравнений. Бифуркация Хопфа. Система нелинейных уравнений. Разложение по сингулярным значениям. Метод Ньютона-Рафсона с псевдообратным. Стохастический резонанс. Стохастические решения. SSA Гиллеспи. Программные продукты.

Тема 2.6 Системно-биологический подход и математическое моделирование для анализа переключения фазового пространства во время эпителиально-мезенхимального перехода

Комплексные системы и фазовый переход. Мезоскопическая структура. Эпителиально-мезенхимальный переход как метастабильное состояние. Экспериментальная установка. Параметры контроля и порядка. Моделирование: математическая основа, формальные уравнения.

Тема 2.7 Оценка параметров в фазово-пространственной реконструкции судьбы клетки: подход системной биологии

Важность системной биологии в исследовании рака. Основы термодинамики. Фазовый переход в росте опухоли. Сложность ракового гликолиза. Влияние гипоксии, нормоксии и рН в опухолевых клетках. Вред глюкозы при раке. Возвращение колебаний: модель ракового гликолиза.

Тема 2.8 Теоретические модели и снижение сложности биохимических и генетических реакций

Моделирование биохимических реакций. Кинетика действия масс. Кинетика энзимов. От реакций к сетям. Нелинейная динамика. Периодические осцилляции. Реакция Белоусова-Жаботинского и брюсселятор. Модель Гудвина. Синтетический биологический осциллятор. Бистабильный ответ. Рассмотрение стабильности. Модели реакция-диффузия. Стохастичность и неоднородность.

Раздел 3 «Инструментарий системной биологии»

Тема 3.1. Системно-биологическое моделирование нелинейной динамики рака. Эндогенная молекулярно-клеточная сетевая теория рака: подход системной биологии

Нелинейная динамика рака с точки зрения системной биологии. Формирование гипотезы эндогенной молекулярно-клеточной сети. Количественная

реализация гипотезы эндогенной молекулярно-клеточной сети при гепатоцеллюлярной карциноме (ГЦК). Количественная оценка эндогенной сети. Нормальная печень и ГЦК как стабильные состояния эндогенной сети. Прогнозирование модели и ключевые характеристики данных о генетических мутациях рака. Новые стратегии лечения рака на основе модели и теории эндогенной сети.

Тема 3.2. Сетевой интегративный рабочий процесс для раскрытия механизмов, лежащих в основе прогрессирования заболевания

Системно-биологический подход. Установление контекста. Представление подсистемы/системы. Конструирование модели. Проверка и эксперименты. Конструирование сети. Анализ сети. Выбор формы математического моделирования (на основе ОДУ, на основе логики, гибридная). Интеграция омиксных данных. Проверка гипотез, полученных с помощью моделей, с использованием экспериментальных и/или клинических данных. Сбор данных, предварительная обработка и анализ. Конструирование сети взаимодействия ген-ТФ-миРНК для первичного и метастатического рака предстательной железы. Анализ сети совместной экспрессии TF и микроРНК.

Тема 3.3. Пространственно-временной флуктуационный анализ законов молекулярной диффузии в мембранах живых клеток

Растворы и гель. Манипуляции с клетками. Оборудование и программное обеспечение для обработки изображений. Подготовка образцов. Калибровка камеры и PSF. Получение данных. Расчет среднеквадратичного смещения по изображениям (iMSD).

Тема 3.4. Метод межвидовой визуализации и анализа данных о последовательности РНК

Вычислительный процесс для межвидовой визуализации и сравнения данных профилирования транскриптома mRNA-seq. Анализ вариаций набора генов (GSVA). Команды на языке программирования R. Примеры на наборах данных mRNA-seq от рака мочевого пузыря собаки и человека.

Тема 3.5. Мультиагентное моделирование поведения населения

Общие положения. MAS и системная биология. Влияние внешних силовых полей. Формы ячеек и поля (проблема, модель, результаты). Синхронизированные нейроны (проблема, модель, результаты). Функциональные связи и корреляции в сетях мозга. Роль отрицательных связей (проблема, модель, результаты). Модели Изинга активности областей мозга (проблема, модель, результаты).

Тема 3.6. Метабомика: вызовы и возможности системной биологии

Сбор образцов. Реагенты для приготовления образцов. Оборудование. ПО для анализа данных. Фосфатно-солевой буфер для подготовки проб ЯМР. Подготовка проб для ЯМР-спектроскопии. Сбор, обработка и постобработка данных ЯМР (настройка ЯМР, разрешение). Постобработка данных ЯМР. Стати-

стический анализ данных ЯМР.

Тема 3.7. Гипотезы системной биологии, проверенные *in vivo*: необходимость совершенствования инструментов молекулярной визуализации

Количественные данные в биологии: инфраструктура для анализа и обмена данными. Текущая деятельность лаборатории молекулярной визуализации (анализ данных для клеточных культур, для МРТ изображений). Тенденции автоматизированного анализа данных в биологии.

4.3 Лекции, практические занятия

Таблица 4

Содержание лекций, практических занятий и контрольные мероприятия

№ п/п	№ раздела	№ и название лекций и лабораторных занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
Раздел 1 «Основы теории систем»					
1	Тема 1.1. Цели и целеполагание	Лекция № 1 «Цели и целеполагание»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	-	2
2		Практическое занятие № 1 «Трудности целеполагания»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	устный опрос	4
3	Тема 1.2. Объект, модель, система	Лекция № 2 «Объект, модель, система»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	-	2
4		Практическое занятие № 2 «Система как совокупность элементов»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	устный опрос	6
5	Тема 1.3. Свойства и их измерения. Измерительные шкалы.	Лекция № 3 «Свойства и их измерения»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	-	2
6		Практическое занятие № 3 «Измерительные шкалы»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	устный опрос	4
7	Тема 1.4. Конструктивные свойства систем.	Лекция № 4 «Конструктивные свойства систем»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	-	2
8		Практическое занятие № 4 «Структуры систем»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	устный опрос	4
9	Тема 1.5. Функциональные свойства	Лекция № 5 «Функциональные	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3,	-	2

№ п/п	№ раздела	№ и название лекций и лабораторных занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
10	систем	свойства систем»	УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3		
		Практическое занятие № 5 «Статические и динамические характеристики систем»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	устный опрос	4
11	Тема 1.6. Общесистемные закономерности	Лекция № 6 «Общесистемные закономерности»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	-	2
12		Практическое занятие № 6 «Закономерности развития»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	устный опрос	4
13	Тема 1.7. Классификация систем	Лекция № 7 «Классификация систем»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	-	2
14		Практическое занятие № 7 «Классификация систем»	УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3	устный опрос	4
Раздел 2 «Принципы системной биологии»					
15	Тема 2.1 Концептуальные проблемы в теоретических основах системной биологии	Лекция № 8 «Концептуальные проблемы в теоретических основах системной биологии»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-7.3	-	2
16		Практическое занятие № 8 «Реляционная онтология для системной биологии»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-7.3	устный опрос	4
17	Тема 2.2 Интегративный подход к биологии, организмам и раку	Лекция № 9 «Интегративный подход к биологии, организмам и раку»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-7.3	-	2
18		Практическое занятие № 9 «Происхождение теории организмов»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-7.3	устный опрос	4
19	Тема 2.3 Концептуальные проблемы системного подхода к пониманию клеточной дифференцировки	Лекция № 10 «Концептуальные проблемы системного подхода к пониманию клеточной дифференцировки»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-7.3	-	2
20		Практическое занятие № 10	ОПК-1.1, ОПК-1.2,	устный опрос	4

№ п/п	№ раздела	№ и название лекций и лабораторных занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
		«Временная динамика, стабильность и изменения»	ОПК-1.3, ОНК-7.3		
21	Тема 2.4 Математическое моделирование в изучении организмов и их частей. Поиск параметров системы	Лекция № 11 «Математическое моделирование в изучении организмов и их частей»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3	-	2
22		Практическое занятие № 11 «Теоретические принципы. Создание моделей»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3	устный опрос	4
23	Тема 2.5 Обратные задачи системной биологии	Лекция № 12 «Обратные задачи системной биологии»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3	-	2
24		Практическое занятие № 12 «Прямые и обратные модели»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3	устный опрос	4
25	Тема 2.6 Системно-биологический подход и математическое моделирование для анализа переключения фазового пространства во время эпителиально-мезенхимального перехода	Лекция № 13 «Системно-биологический подход и математическое моделирование для анализа переключения фазового пространства во время эпителиально-мезенхимального перехода»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3	-	2
26		Практическое занятие № 13 «Мезоскопическая структура. Эпителиально-мезенхимальный переход как метастабильное состояние»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3	устный опрос	4
27	Тема 2.7 Оценка параметров в фазово-пространственной реконструкции судьбы клетки: подход системной биологии	Лекция № 14 «Оценка параметров в фазово-пространственной реконструкции судьбы клетки: подход системной биологии»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3	-	2
28		Практическое занятие № 14 «Сложность ракового гликолиза. Влияние	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3	устный опрос	4

№ п/п	№ раздела	№ и название лекций и лабораторных занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
		гипоксии, нормоксии и pH в опухолевых клетках»			
29	Тема 2.8 Теоретические модели и снижение сложности биохимических и генетических реакций	Лекция № 15 «Теоретические модели и снижение сложности биохимических и генетических реакций»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3	-	2
30		Практическое занятие № 15 «Нелинейная динамика. Периодические осцилляции. Реакция Белоусова-Жаботинского и бросселятор. Модель Гудвина»	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3	устный опрос	4
Раздел 3 «Инструментарий системной биологии»					
31	Тема 3.1. Системно-биологическое моделирование нелинейной динамики рака. Эндогенная молекулярно-клеточная сетевая теория рака: подход системной биологии	Лекция № 16 «Системно-биологическое моделирование нелинейной динамики рака.»	ОПК-2.2, ОПК-2.3	-	2
32		Практическое занятие № 16 «Эндогенная молекулярно-клеточная сетевая теория рака: подход системной биологии»	ОПК-2.2, ОПК-2.3	устный опрос	6
33	Тема 3.2. Сетевой интегративный рабочий процесс для раскрытия механизмов, лежащих в основе прогрессирования заболевания	Лекция № 17 «Сетевой интегративный рабочий процесс для раскрытия механизмов, лежащих в основе прогрессирования заболевания»	ОПК-2.2, ОПК-2.3	-	2
34		Практическое занятие № 17 «Выбор формы математического моделирования (на основе ОДУ, на основе логики, гибридная). Интеграция омиксных данных»	ОПК-2.2, ОПК-2.3	устный опрос	4
35	Тема 3.3. Пространственно-временной флуктуационный анализ законов мо-	Лекция № 18 «Пространственно-временной флуктуационный анализ зако-	ОПК-2.2, ОПК-2.3	-	2

№ п/п	№ раздела	№ и название лекций и лабораторных занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
36	лекулярной диффузии в мембранах живых клеток	нов молекулярной диффузии в мембранах живых клеток»			4
		Практическое занятие № 18 «Оборудование и программное обеспечение для обработки изображений. Подготовка образцов.»	ОПК-2.2, ОПК-2.3	устный опрос	
37	Тема 3.4. Метод межвидовой визуализации и анализа данных о последовательности РНК	Лекция № 19 «Метод межвидовой визуализации и анализа данных о последовательности РНК»	ОПК-2.2, ОПК-2.3	-	2
38		Практическое занятие № 19 «Вычислительный процесс для межвидовой визуализации и сравнения данных профилирования транскриптома mRNA-seq»	ОПК-2.2, ОПК-2.3	устный опрос	4
39	Тема 3.5. Мультиагентное моделирование поведения населения	Лекция № 20 «Мультиагентное моделирование поведения населения»	ОПК-2.2, ОПК-2.3	-	2
40		Практическое занятие № 20 «Синхронизированные нейроны (проблема, модель, результаты). Функциональные связи и корреляции в сетях мозга»	ОПК-2.2, ОПК-2.3	устный опрос	4
41	Тема 3.6. Метаболизма: вызовы и возможности системной биологии	Лекция № 21 «Метаболизма: вызовы и возможности системной биологии»	ОПК-2.2, ОПК-2.3	-	2
42		Практическое занятие № 21 «Подготовка проб для ЯМР-спектроскопии. Сбор, обработка и пост-обработка данных ЯМР»	ОПК-2.2, ОПК-2.3	устный опрос	4
43	Тема 3.7. Гипотезы системной биологии, проверенные <i>in vivo</i> : необходимость	Лекция № 22 «Гипотезы системной биологии, проверенные <i>in vivo</i> »	ОПК-2.2, ОПК-2.3	-	2

№ п/п	№ раздела	№ и название лекций и лабораторных занятий	Формируемые компетенции	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
44	совершенствования инструментов молекулярной визуализации	Практическое занятие № 22 «Инструменты молекулярной визуализации»	ОПК-2.2, ОПК-2.3	устный опрос	4

Таблица 5

Перечень вопросов для самостоятельного изучения дисциплины

№ п/п	№ раздела и темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
Раздел 1 «Основы теории систем»		
1	Тема 1.1. Цели и целеполагание	Ограничения целеполагания. Проблематика. Неопределенность целеполагания. Опасность подмены целей средствами. Влияние ценностей на цели. Множественность целей. Изменение целей со временем. (УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3)
2	Тема 1.2. Объект, модель, система	Окружающая среда объекта. Кибернетическая модель объекта. Классификация входов и выходов объекта (УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3)
3	Тема 1.3. Свойства и их измерения. Измерительные шкалы.	Шкалы разностей. Шкалы отношений. Абсолютные шкалы (УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3)
4	Тема 1.4. Конструктивные свойства систем.	Понятие структуры. Типы структур. Оценка эффективности структур (УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3)
5	Тема 1.5. Функциональные свойства систем	Динамическое звено. Переходные функции. Безынерционное звено. Инерционное звено. Дифференцирующее звено. Интегрирующее звено. Колебательное звено. Аperiodическое звено второго порядка. Звено чистого запаздывания. Динамические свойства реальных объектов (УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3)
6	Тема 1.6. Общесистемные закономерности	Понятие энтропии. Открытые и закрытые системы. Второе начало термодинамики. Принцип компенсации энтропии (УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3)
7	Тема 1.7. Классификация систем	Большие системы. Попытки классификации систем по сложности. Структурная сложность систем. Функциональная сложность. Динамическая сложность (УК-1.1, УК-1.2, УК-1.3, УК-1.4, ОПК-4.1, ОПК-4.3)
Раздел 2 «Принципы системной биологии»		
8	Тема 2.1 Концептуальные проблемы в теоретических основах системной биологии	Внутренние свойства как реляционные свойства. Реляционные свойства, ограничивающие поведение частей. Отношение биологических контекстов. (ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-7.3)
9	Тема 2.2 Интегративный подход к биологии, организмам и раку	Новая теория рака, теория поля организации ткани (теория организмов, ТОГТ, органогенез и моделирование на основе биологических принципов). (ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-7.3)

№ п/п	№ раздела и темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
10	Тема 2.3 Концептуальные проблемы системного подхода к пониманию клеточной дифференцировки	Энергия стабильности. Энергия изменения. (ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3)
11	Тема 2.4 Математическое моделирование в изучении организмов и их частей. Поиск параметров системы	Анализ моделей (аналитические методы, численные методы – симуляции). Небрежность и перенасыщение – скрытые риски. Синтез. «Субъективное» суждение. (ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3)
12	Тема 2.5 Обратные задачи системной биологии	Бифуркация Хопфа. Система нелинейных уравнений. Разложение по сингулярным значениям. Метод Ньютона-Рафсона с псевдообратным. Стохастический резонанс. Стохастические решения. SSA Гиллеспи. Программные продукты. (ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3)
13	Тема 2.6 Системно-биологический подход и математическое моделирование для анализа переключения фазового пространства во время эпителиально-мезенхимального перехода	Экспериментальная установка. Параметры контроля и порядка. Моделирование: математическая основа, формальные уравнения. (ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3)
14	Тема 2.7 Оценка параметров в фазово-пространственной реконструкции судьбы клетки: подход системной биологии	Вред глюкозы при раке. Возвращение колебаний: модель ракового гликолиза. (ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3)
15	Тема 2.8 Теоретические модели и снижение сложности биохимических и генетических реакций	Рассмотрение стабильности. Модели реакция-диффузия. Стохастичность и неоднородность. (ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОНК-7.3)
Раздел 3 «Инструментарий системной биологии»		
16	Тема 3.1. Системно-биологическое моделирование нелинейной динамики рака. Эндогенная молекулярно-клеточная сетевая теория рака: подход системной биологии	Количественная оценка эндогенной сети. Нормальная печень и ГЦК как стабильные состояния эндогенной сети. Прогнозирование модели и ключевые характеристики данных о генетических мутациях рака. (ОПК-2.2, ОПК-2.3)
17	Тема 3.2. Сетевой интегративный рабочий процесс для раскрытия механизмов, лежащих в основе прогрессирования заболевания	Интеграция омиксных данных. Проверка гипотез, полученных с помощью моделей, с использованием экспериментальных и/или клинических данных. (ОПК-2.2, ОПК-2.3)
18	Тема 3.3. Пространственно-временной флуктуационный анализ законов молекулярной диффузии в мембранах живых клеток	Калибровка камеры и PSF. Получение данных. (ОПК-2.2, ОПК-2.3)
19	Тема 3.4. Метод межвидовой визуализации и анализа данных о последовательности	Анализ вариаций набора генов (GSVA). Команды на языке программирования R. (ОПК-2.2, ОПК-2.3)

№ п/п	№ раздела и темы	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
	РНК	
20	Тема 3.5. Мультиагентное моделирование поведения населения	Функциональные связи и корреляции в сетях мозга. Роль отрицательных связей (проблема, модель, результаты). (ОПК-2.2, ОПК-2.3)
21	Тема 3.6. Метабомика: вызовы и возможности системной биологии	Сбор, обработка и постобработка данных ЯМР (настройка ЯМР, разрешение). (ОПК-2.2, ОПК-2.3)
22	Тема 3.7. Гипотезы системной биологии, проверенные in vivo: необходимость совершенствования инструментов молекулярной визуализации	Тенденции автоматизированного анализа данных в биологии. (ОПК-2.2, ОПК-2.3)

5. Образовательные технологии

Таблица 6

Применение активных и интерактивных образовательных технологий

№ п/п	Тема и форма занятия		Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий
1.	Конструктивные свойства систем	Л	Лекция-дискуссия
2.	Статические и динамические характеристики систем	ПЗ	Разбор конкретных ситуаций
3.	Обратные задачи системной биологии	Л	Лекция-дискуссия
4.	Прямые и обратные модели	ПЗ	Разбор конкретных ситуаций

6. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины

6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности

6.1.1. Примерные вопросы для обсуждения на практических занятиях

Практическое занятие № 1 «Трудности целеполагания»

1. Использование критериев в целеполагании.
2. Трудности целеполагания.
3. Требования к цели.

Практическое занятие № 2 «Система как совокупность элементов»

1. Модели объекта.
2. Связь объекта с окружающей средой.
3. Объект и система.
4. Выделение системы.
5. Система как совокупность элементов.

Практическое занятие № 3 «Измерительные шкалы»

1. Понятие свойства. Измерения и шкалы.
2. Шкалы наименований. Порядковые шкалы.
3. Шкалы интервалов. Шкалы разностей.
4. Шкалы отношений. Абсолютные шкалы.
5. Шкалирование.

Практическое занятие № 4 «Структуры систем»

1. Элементы системы.
2. Связи в системе.
3. Структуры систем.

Практическое занятие № 5 «Статические и динамические характеристики систем»

1. Система как средство достижения цели.
2. Состояние системы и его оценка.
3. Статические и динамические системы.
4. Состояния и свойства динамических систем.
5. Статические характеристики системы. Функция системы.
6. Динамические характеристики систем.
7. Элементарные динамические звенья.
8. Пространство состояний.
9. Устойчивость динамических систем.

Практическое занятие № 6 «Закономерности развития»

1. Закономерности взаимодействия части и целого в системе.
2. Закономерность иерархичности системы.
3. Энтропийные закономерности системы.
4. Закономерности развития системы.
5. Общесистемные закономерности.

Практическое занятие № 7 «Классификация систем»

1. Классификация систем по происхождению.
2. Классификация систем по объективности существования.
3. Классификация систем по природе систем.
4. Централизованные и децентрализованные системы.
5. Классификация систем по размерности.
6. Классификация систем по однородности и разнообразию структурных элементов.
7. Линейные и нелинейные системы.
8. Непрерывные и дискретные системы.
9. Каузальные и целеактивные системы.
10. Большие и сложные системы.
11. Детерминированные и стохастические системы.
12. Классификация систем по степени организованности.

Практическое занятие № 8 «Реляционная онтология для системной биологии»

1. Механизмы и биологический атомизм.
2. Реляционная онтология для системной биологии.
3. Внутренние свойства как реляционные свойства.
4. Реляционные свойства, ограничивающие поведение частей.
5. Отношение биологических контекстов.

Практическое занятие № 9 «Происхождение теории организмов»

1. Происхождение теории организмов.
2. Новая теория рака. Теория поля организации ткани.

Практическое занятие № 10 «Временная динамика, стабильность и изменения»

1. Временная динамика, стабильность и изменения биологических систем.
2. Энергия стабильности биологических систем.
3. Энергия изменения биологических систем.

Практическое занятие № 11 «Теоретические принципы. Создание моделей»

1. Параметры и состояния систем.
2. Описание систем: уравнения, инварианты и симметрии.
3. Теоретические принципы создания моделей.
4. Анализ моделей (аналитические методы, численные методы – симуляции).
5. Синтез. «Субъективное» суждение.

Практическое занятие № 12 «Прямые и обратные модели»

1. Обоснование системной биологии и обратных задач.
2. Прямая модель. Обратная модель.
3. Обратная бифуркация.
4. Детерминистские решения. Концепции бифуркации.
5. Анализ линейной стабильности.
6. Использование системы двух нелинейных уравнений. Бифуркация Хопфа.
7. Система нелинейных уравнений. Разложение по сингулярным значениям.
8. Метод Ньютона-Рафсона с псевдообратным.
9. Стохастический резонанс. Стохастические решения.

Практическое занятие № 13 «Мезоскопическая структура. Эпителиально-мезенхимальный переход как метастабильное состояние»

1. Комплексные системы и фазовый переход.
2. Мезоскопическая структура.
3. Эпителиально-мезенхимальный переход как метастабильное состояние.

4. Моделирование эпителиально-мезенхимального перехода: математическая основа, формальные уравнения.

Практическое занятие № 14 «Сложность ракового гликолиза. Влияние гипоксии, нормоксии и pH в опухолевых клетках»

1. Важность системной биологии в исследовании рака.
2. Основы термодинамики. Фазовый переход в росте опухоли.
3. Раковый гликолиза.
4. Влияние гипоксии, нормоксии и pH в опухолевых клетках.

Практическое занятие № 15 «Нелинейная динамика. Периодические осцилляции. Реакция Белоусова-Жаботинского и брюсселятор. Модель Гудвина»

1. Моделирование биохимических реакций.
2. Нелинейная динамика биохимических реакций.
3. Стабильность биохимических реакций.
4. Модели реакция-диффузия.
5. Стохастичность и неоднородность.

Практическое занятие № 16 «Эндогенная молекулярно-клеточная сетевая теория рака: подход системной биологии»

1. Нелинейная динамика рака с точки зрения системной биологии.
2. Формирование гипотезы эндогенной молекулярно-клеточной сети.
3. Количественная реализация гипотезы эндогенной молекулярно-клеточной сети при гепатоцеллюлярной карциноме (ГЦК).
4. Количественная оценка эндогенной сети.
5. Прогнозирование модели и ключевые характеристики данных о генетических мутациях рака.
6. Новые стратегии лечения рака на основе модели и теории эндогенной сети.

Практическое занятие № 17 «Выбор формы математического моделирования (на основе ОДУ, на основе логики, гибридная). Интеграция омиксных данных»

1. Системно-биологический подход. Установление контекста.
2. Представление подсистемы/системы.
3. Конструирование модели. Проверка и эксперименты.
4. Конструирование сети. Анализ сети.
5. Выбор формы математического моделирования (на основе ОДУ, на основе логики, гибридная).
6. Интеграция омиксных данных.
7. Проверка гипотез, полученных с помощью моделей, с использованием экспериментальных и/или клинических данных.

Практическое занятие № 18 «Оборудование и программное обеспечение для обработки изображений. Подготовка образцов.»

1. Инструментарий анализа молекулярной диффузии.

2. Подготовка образцов. Калибровка камеры и PSF.
3. Получение данных. Расчет среднеквадратичного смещения по изображениям (iMSD).

Практическое занятие № 19 «Вычислительный процесс для межвидовой визуализации и сравнения данных профилирования транскриптома mRNA-seq»

1. Вычислительный процесс для межвидовой визуализации и сравнения данных профилирования транскриптома mRNA-seq.
2. Анализ вариаций набора генов (GSVA).

Практическое занятие № 20 «Синхронизированные нейроны (проблема, модель, результаты). Функциональные связи и корреляции в сетях мозга»

1. MAS и системная биология.
2. Влияние внешних силовых полей. Формы ячеек и поля (проблема, модель, результаты).
3. Синхронизированные нейроны (проблема, модель, результаты).
4. Функциональные связи и корреляции в сетях мозга.
5. Роль отрицательных связей (проблема, модель, результаты).
6. Модели Изинга активности областей мозга (проблема, модель, результаты).

Практическое занятие № 21 «Подготовка проб для ЯМР-спектроскопии. Сбор, обработка и постобработка данных ЯМР»

1. Сбор образцов. Подготовка проб для ЯМР-спектроскопии.
2. Сбор, обработка и постобработка данных ЯМР (настройка ЯМР, разрешение).
3. Статистический анализ данных ЯМР.

Практическое занятие № 22 «Инструменты молекулярной визуализации»

1. Количественные данные в биологии: инфраструктура для анализа и обмена данными.

2. Деятельность лаборатории молекулярной визуализации.
3. Тенденции автоматизированного анализа данных в биологии.

6.1.2 Перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию (экзамен):

1. Использование критериев в целеполагании.
2. Трудности целеполагания.
3. Требования к цели.
4. Модели объекта.
5. Связь объекта с окружающей средой.
6. Объект и система.
7. Выделение системы.
8. Система как совокупность элементов.
9. Понятие свойства. Измерения и шкалы.
10. Шкалы наименований. Порядковые шкалы.

11. Шкалы интервалов. Шкалы разностей.
12. Шкалы отношений. Абсолютные шкалы.
13. Шкалирование.
14. Элементы системы.
15. Связи в системе.
16. Структуры систем.
17. Система как средство достижения цели.
18. Состояние системы и его оценка.
19. Статические и динамические системы.
20. Состояния и свойства динамических систем.
21. Статические характеристики системы. Функция системы.
22. Динамические характеристики систем.
23. Элементарные динамические звенья.
24. Пространство состояний.
25. Устойчивость динамических систем.
26. Закономерности взаимодействия части и целого в системе.
27. Закономерность иерархичности системы.
28. Энтропийные закономерности системы.
29. Закономерности развития системы.
30. Общесистемные закономерности.
31. Классификация систем по происхождению.
32. Классификация систем по объективности существования.
33. Классификация систем по природе систем.
34. Централизованные и децентрализованные системы.
35. Классификация систем по размерности.
36. Классификация систем по однородности и разнообразию структурных элементов.
37. Линейные и нелинейные системы.
38. Непрерывные и дискретные системы.
39. Каузальные и целеактивные системы.
40. Большие и сложные системы.
41. Детерминированные и стохастические системы.
42. Классификация систем по степени организованности.
43. Механизмы и биологический атомизм.
44. Реляционная онтология для системной биологии.
45. Внутренние свойства как реляционные свойства.
46. Реляционные свойства, ограничивающие поведение частей.
47. Отношение биологических контекстов.
48. Происхождение теории организмов.
49. Новая теория рака. Теория поля организации ткани.
50. Временная динамика, стабильность и изменения биологических систем.
51. Энергия стабильности биологических систем.
52. Энергия изменения биологических систем.
53. Параметры и состояния систем.
54. Описание систем: уравнения, инварианты и симметрии.

55. Теоретические принципы создания моделей.
56. Анализ моделей (аналитические методы, численные методы – симуляции).
57. Обоснование системной биологии и обратных задач.
58. Прямая модель. Обратная модель.
59. Обратная бифуркация.
60. Детерминистские решения. Концепции бифуркации.
61. Анализ линейной стабильности.
62. Использование системы двух нелинейных уравнений. Бифуркация Хопфа.
63. Система нелинейных уравнений. Разложение по сингулярным значениям.
64. Стохастический резонанс. Стохастические решения.
65. Комплексные системы и фазовый переход.
66. Эпителиально-мезенхимальный переход как метастабильное состояние.
67. Моделирование эпителиально-мезенхимального перехода: математическая основа, формальные уравнения.
68. Важность системной биологии в исследовании рака.
69. Основы термодинамики. Фазовый переход в росте опухоли.
70. Раковый гликолиза.
71. Влияние гипоксии, нормоксии и pH в опухолевых клетках.
72. Моделирование биохимических реакций.
73. Нелинейная динамика биохимических реакций.
74. Стабильность биохимических реакций.
75. Модели реакция-диффузия.
76. Нелинейная динамика рака с точки зрения системной биологии.
77. Формирование гипотезы эндогенной молекулярно-клеточной сети.
78. Количественная реализация гипотезы эндогенной молекулярно-клеточной сети при гепатоцеллюлярной карциноме (ГЦК).
79. Прогнозирование модели и ключевые характеристики данных о генетических мутациях рака.
80. Новые стратегии лечения рака на основе модели и теории эндогенной сети.
81. Системно-биологический подход. Установление контекста.
82. Представление подсистемы/системы.
83. Конструирование модели. Проверка и эксперименты.
84. Конструирование сети. Анализ сети.
85. Выбор формы математического моделирования (на основе ОДУ, на основе логики, гибридная).
86. Интеграция омиксных данных.
87. Проверка гипотез, полученных с помощью моделей, с использованием экспериментальных и/или клинических данных.
88. Вычислительный процесс для межвидовой визуализации и сравнения данных профилирования транскриптома mRNA-seq.
89. Анализ вариаций набора генов (GSVA).

90. MAS и системная биология.
 91. Влияние внешних силовых полей. Формы ячеек и поля (проблема, модель, результаты).
 92. Синхронизированные нейроны (проблема, модель, результаты).
 93. Функциональные связи и корреляции в сетях мозга.
 94. Роль отрицательных связей (проблема, модель, результаты).
 95. Модели Изинга активности областей мозга (проблема, модель, результаты).
 96. Сбор, обработка и постобработка данных ЯМР (настройка ЯМР, разрешение).
 97. Статистический анализ данных ЯМР.
 98. Количественные данные в биологии: инфраструктура для анализа и обмена данными.
 99. Деятельность лаборатории молекулярной визуализации.
 100. Тенденции автоматизированного анализа данных в биологии.

6.2. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания

Для оценки знаний, умений, навыков и формирования компетенции по дисциплине применяется традиционная система контроля и оценки успеваемости студентов.

Экзамен – «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Критерии оценивания результатов обучения

Таблица 7

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку «отлично» заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – высокий.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку «хорошо» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – хороший (средний).
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, сформированы на уровне – достаточный.

Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)	оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы. Компетенции, закреплённые за дисциплиной, не сформированы.
---	---

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

7.1 Основная литература

1. Калашникова Е.А. Основы биотехнологии: Учебное пособие. / Е.А. Калашникова, М.Ю. Чередниченко, Р.Н. Киракосян. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: КНОРУС, 2022. – 278 с.
2. Калашникова Е.А. Современные аспекты биотехнологии: учебно-методический комплекс / Е.А. Калашникова, Р.Н. Киракосян – М.: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2016. - 125 с.

7.2 Дополнительная литература

1. Боголюбов Д. С. Регуляторные механизмы экспрессии генома: учебно-методическое пособие / Д. С. Боголюбов, В. М. Седова, И. М. Спивак. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 241 с.
2. Браун Т.А. Геномы / Т.А. Браун. Пер. с англ. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2011. – 944 с.
3. Патрушев Л.И. Искусственные генетические системы. Т.1: Генная и белковая инженерия / Л.И. Патрушев; Ин-т биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН. Отв. ред. А.И. Мирошников. – М.: Наука, 2004. 526 с.

7.3 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

1. Практикум по биотехнологии растений / Е.А. Калашникова, М.Ю. Чередниченко, Н.П. Карсункина, М.Р. Халилуев. Изд. 3-е, испр. и доп. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2014. 148 с.
2. Лабораторный практикум по культуре клеток и тканей растений / Е.А. Калашникова, М.Ю. Чередниченко, Р.Н. Киракосян, С.М. Зайцева. М.: ФГБНУ «Росинформатех», 2017. 140 с.

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Таблица 8

Сведения об обеспеченности специализированными аудиториями, кабинетами, лабораториями

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы (№ учебного корпуса, № аудитории)	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	2
Учебная лаборатория для проведения занятий семинарского типа, групповых и	Аквадистиллятор № 559576 Бокс ламинарный №№ 559911, 559911/1,

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы (№ учебного корпуса, № аудитории)	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (Учебный корпус № 3, аудитория № 109)	559911/2, 559911/3, 31924/6 Весы Ohaus № 34426 Весы аналитические ACCULAB № 559572 Весы электронные KERN EW № 35571 Доска передвижная поворотная № 557950/1 Камера климатическая № 410124000559553 Мойка лабораторная №№ 559920/1, 559920/2, 559920/3 Стеллаж для выращивания растений №№ 559937, 559937/1, 559937/2, 559937/3, 559937/4, 559937/5, 559937/6, 559937/7 Стерилизатор паровой (автоклав) №№ 410124000559575, 410124000559575/1 Стол лабораторный №№ 560198/10, 560198/11, 560198/12, 560198/13, 560198/14, 560198/15, 560198/16, 560198/17, 560198/18, 560198/2, 560198/3, 560198/4, 560198/5, 560198/6, 560198/7, 560198/8, 560198/9, 591056, 591056/1, 591056/10, 591056/11, 591056/12, 591056/13, 591056/14 Сушка лиофильная № 31922 Термостат №№ 559578/1, 559578, 559577 Шейкер-инкубатор орбитальный № 410124000559945 Шкаф вытяжной № 559925
Центральная научная библиотека имени Н.И. Железнова. Читальные залы библиотеки.	

9. Методические рекомендации студентам по освоению дисциплины

Для успешного усвоения каждой из тем дисциплины «Системная биология» студент должен внимательно прослушать и законспектировать лекцию по конкретной теме, подготовиться к практическому занятию. Для самоконтроля студентов предназначены контрольные вопросы.

Для конспектирования лекций рекомендуется завести отдельную тетрадь из 96 листов. Конспект каждой лекции следует начинать с названия темы лекции и указания даты ее проведения. Все заголовки разделов лекции следует четко выделять, например, подчеркиванием. Во время лекции следует внимательно следить за ходом мысли лектора и записывать важнейшие определения, разъяснения, формулы, термины. Также нужно стараться воспроизводить в конспекте рисунки и таблицы, которые демонстрирует лектор. При самостоятельной работе студента с конспектом лекций следует осуществлять самопроверку, то есть следить за тем, чтобы освоенным оказался весь материал, изложенный в лекции. Материал, который кажется студенту недостаточно понятным, следует проработать по учебнику и воспользоваться помощью преподавателя на консультациях. Работать с конспектом лекций следует еженедельно,

внося в него свои дополнения, замечания и вопросы (для этого в тетради следует оставлять широкие поля).

При подготовке к практической работе необходимо составить краткий (1-2 страницы) конспект теоретического материала, на котором основана данная практическая работа и ход ее выполнения. Для подготовки конспекта используют практикум, главы или разделы учебника, рекомендованные преподавателем и конспект лекций.

Виды и формы отработки пропущенных занятий


Студент, пропустивший лекцию, представляет конспект по теме лекции. При пропуске практического занятия студент представляет конспект по теме пропущенного занятия. Оценка конспектов – зачтено, не зачтено.

10. Методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине

Главная задача дисциплины «Системная биология» - сформировать у студентов целостное представление о живых организмах как системах; дать представление о возможностях использования методов системной биологии в сельском хозяйстве, медицине и др.

При преподавании дисциплины необходимо ориентироваться на современные образовательные и информационные технологии. Необходимо проводить устный опрос студентов и контролировать выполнение заданий. Контрольные вопросы выдаются студентам по разделам и темам непосредственно перед их изучением. Акцент делается на активные методы обучения на практических занятиях и интерактивной форме обучения.

Программу разработали:

Чередниченко М.Ю., канд. биол. наук, доцент 

Хлебникова Д.А., канд. биол. наук, старший преподаватель 

РЕЦЕНЗИЯ

на рабочую программу дисциплины Б1.О.08 «Системная биология»
ОПОП ВО по направлению 19.04.01 – «Биотехнология», направленность «Биоинжене-
рия и бионанотехнологии» (квалификация выпускника – магистр)

Таракановым Иваном Германовичем, заведующим кафедрой физиологии растений ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, доктором биологических наук (далее по тексту рецензент), проведена рецензия рабочей программы дисциплины «Системная биология» ОПОП ВО по направлению 19.04.01 – «Биотехнология», направленность «Биоинженерия и бионанотехнологии» (магистратура), разработанной в ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», на кафедре биотехнологии (разработчики – Чердниченко Михаил Юрьевич, доцент кафедры биотехнологии, кандидат биологических наук, Хлебникова Дарья Анатольевна, старший преподаватель кафедры биотехнологии, кандидат биологических наук).

Рассмотрев представленные на рецензию материалы, рецензент пришел к следующим выводам:

1. Предъявленная рабочая программа дисциплины «Системная биология» (далее по тексту Программа) соответствует требованиям ФГОС по направлению 19.04.01 – «Биотехнология». Программа содержит все основные разделы, соответствует требованиям к нормативно-методическим документам.

2. Представленная в Программе актуальность учебной дисциплины в рамках реализации ОПОП ВО не подлежит сомнению – дисциплина относится к обязательной части учебного цикла – Б1.О.

3. Представленные в Программе цели дисциплины соответствуют требованиям ФГОС направления 19.04.01 – «Биотехнология».

4. В соответствии с Программой за дисциплиной «Системная биология» закреплена **5 компетенций (12 индикаторов)**. Дисциплина «Системная биология» и представленная Программа способна реализовать их в объявленных требованиях.

5. Результаты обучения, представленные в Программе в категориях знать, уметь, владеть соответствуют специфике и содержанию дисциплины и демонстрируют возможность получения заявленных результатов.

6. Общая трудоёмкость дисциплины «Системная биология» составляет 6 зачётных единиц (216 часов).

7. Информация о взаимосвязи изучаемых дисциплин и вопросам исключения дублирования в содержании дисциплин соответствует действительности. Дисциплина «Системная биология» взаимосвязана с другими дисциплинами ОПОП ВО и Учебного плана по направлению 19.04.01 – «Биотехнология» и возможность дублирования в содержании отсутствует. Поскольку дисциплина не предусматривает наличие специальных требований к входным знаниям, умениям и компетенциям студента, хотя может являться предшествующей для специальных, в том числе профессиональных дисциплин, использующих знания в области системной биологии в профессиональной деятельности магистра по данному направлению подготовки.

8. Представленная Программа предполагает использование современных образовательных технологий, используемые при реализации различных видов учебной работы. Формы образовательных технологий соответствуют специфике дисциплины.

9. Программа дисциплины «Системная биология» предполагает проведение занятий в интерактивной форме.

10. Виды, содержание и трудоёмкость самостоятельной работы студентов, представленные в Программе, соответствуют требованиям к подготовке выпускников, содержащимся во ФГОС ВО направления 19.04.01 – «Биотехнология».

11. Представленные и описанные в Программе формы текущей оценки знаний (опрос в форме обсуждения отдельных вопросов), соответствуют специфике дисциплины и тре-

бованиям к выпускникам.

Форма промежуточного контроля знаний студентов, предусмотренная Программой, осуществляется в форме экзамена, что соответствует статусу дисциплины как дисциплины обязательной части учебного цикла – Б1.О ФГОС 3++ направления 19.04.01 – «Биотехнология».

12. Формы оценки знаний, представленные в Программе, соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

13. Учебно-методическое обеспечение дисциплины представлено: основной литературой – 2 источника (базовых учебников), дополнительной литературой – 3 наименований и соответствует требованиям ФГОС 3++ направления 19.04.01 – «Биотехнология».

14. Материально-техническое обеспечение дисциплины соответствует специфике дисциплины «Системная биология» и обеспечивает использование современных образовательных, в том числе интерактивных методов обучения.

15. Методические рекомендации студентам и методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине дают представление о специфике обучения по дисциплине «Системная биология».

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенной рецензии можно сделать заключение, что характер, структура и содержание рабочей программы дисциплины «Системная биология» ОПОП ВО по направлению 19.03.01 – «Биотехнология», направленность «Биоинженерия и бионанотехнологии» (квалификация выпускника – магистр), разработанная Чердниченко М.Ю., доцентом кафедры биотехнологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», кандидатом биологических наук, Хлебниковой Дарьей Анатольевной, старшим преподавателем кафедры биотехнологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», кандидатом биологических наук соответствует требованиям ФГОС ВО, современным требованиям экономики, рынка труда и позволит при её реализации успешно обеспечить формирование заявленных компетенций.

Рецензент: Тараканов И.Г., заведующий кафедрой физиологии растений ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», доктор биологических наук, профессор


(подпись)

29.08 2022 г.