



Компонент образовательной программы

Образовательная программа утверждена

Решением Ученого совета

ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ»

Протокол от 25.08.2023 г. № 2.1

с изменениями и (или) дополнениями

от 31.01.2024 г. Протокол № 1

Рабочая программа дисциплины

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ
СИСТЕМ**

по направлению подготовки

09.04.02 Информационные системы и технологии

направленность (профиль): **Информационные системы и технологии в
здравоохранении**

(квалификация выпускника: магистр)

Форма обучения: очная

1. Код и наименование дисциплины (модуля): Б1.О.6 Компьютерное моделирование биологических систем.

2. Уровень высшего образования: магистратура.

3. Направление подготовки: 09.04.02 Информационные системы и технологии, направленность (профиль): Информационные системы и технологии в здравоохранении.

4. Цель изучения дисциплины (модуля): приобретение обучающимися знаний и навыков, основных понятий математического и компьютерного моделирования биологических систем.

5. Задачи дисциплины (модуля): изучение основных методов и подходов математического и компьютерного моделирования биологических систем на различных уровнях сложности; изучение методов анализа динамических систем, используемых для описания процессов в биологических системах; практическое освоение подходов к цифровой обработке медицинских сигналов и распознаванию изображений биологических систем.

6. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП: дисциплины (модули), обязательная часть, 1 курс обучения, 1 семестр.

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

В результате освоения программы магистратуры у выпускника должны быть сформированы: общепрофессиональные, профессиональные компетенции.

В результате освоения указанной программы магистратуры выпускник должен обладать следующими компетенциями:

общепрофессиональными компетенциями:

– способен разрабатывать и применять математические модели процессов и объектов при решении задач анализа и синтеза распределенных информационных систем и систем поддержки принятия решений (ОПК-7).

профессиональными компетенциями:

– способен осуществлять руководство разработкой и исследование моделей процессов и объектов информационных систем на базе стандартных пакетов автоматизированного моделирования и проектирования (ПК-4).

8. Планируемые результаты обучения

Магистр должен:

знать: основы математического моделирования биологических систем; методы моделирования и математического анализа, в том числе с использованием пакетов прикладных программ для решения задач профессиональной деятельности; сферы применения и возможности пакетов прикладных программ.

уметь: определять набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование процессов, обусловленных применением биотехнических систем и медицинских изделий; руководить процессом разработки моделей биологических систем.

владеть: современными методами анализа экспериментальных данных и методами математического моделирования; методами анализа данных в медико-биологических исследованиях и особенностями построения, применения и анализа математических моделей биологических систем.

Карта формирующих компетенций (или их частей) дисциплины (модуля)

№ п/п	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемый результат обучения по дисциплине		
			Знать	Уметь	Владеть
1.	Способен разрабатывать и применять математические модели процессов и объектов при решении задач анализа и синтеза распределенных информационных систем и систем поддержки принятия решений (ОПК-7)	ОПК-7.1 ОПК-7.2 ОПК-7.3	Основы математического моделирования биологических систем; принципы построения математических моделей процессов и объектов при решении задач анализа и синтеза распределенных информационных систем и систем поддержки принятия решений	Определять набор параметров, с учётом которых должно быть проведено моделирование процессов, обусловленных применением биотехнических систем и медицинских изделий; разрабатывать и применять математические модели процессов и объектов при решении задач анализа и синтеза распределенных информационных систем и систем поддержки принятия решений	Современными методами анализа экспериментальных данных и методами математического моделирования; практическим опытом построения математических моделей для реализации успешного функционирования распределенных информационных систем и систем поддержки принятия решений

№ п/п	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемый результат обучения по дисциплине		
			Знать	Уметь	Владеть
2.	Способен осуществлять руководство разработкой и исследование моделей процессов и объектов информационных систем на базе стандартных пакетов автоматизированного моделирования и проектирования (ПК-4)	ПК-4.1 ПК-4.2 ПК-4.3	Методы разработки моделей биологических систем; основные этапы построения математических моделей биологических систем, методы и алгоритмы анализа динамических моделей; методы моделирования и математического анализа, в том числе с использованием пакетов прикладных программ для решения задач профессиональной деятельности; сферы применения и возможности пакетов прикладных программ; структуру построения нейронных сетей; методы моделирования и проектирования информационных систем	Руководить процессом разработки моделей биологических систем; самостоятельно разрабатывать математические и компьютерные модели биологических систем на различных уровнях сложности и правильно использовать их для решения задач медицинской диагностики, прогнозирования исходов заболеваний, оценки эффективности медицинских вмешательств; разрабатывать и внедрять методы мониторинга и анализа сигналов для эффективной неинвазивной диагностики состояния больного, а также синтезировать адаптационные методы лечения; проводить анализ результатов проведения экспериментов с помощью методов корреляционного, регрессивного, дискриминантного и кластерного анализа, а также осуществлять руководство разработкой моделей; анализировать и синтезировать структуру построения нейронной сети; получать модели различных объектов профессиональной деятельности на когнитивной основе; осуществлять	Методами анализа данных в медико-биологических исследованиях и особенностями построения, применения и анализа математических моделей биологических систем; навыками организации самостоятельного проведения научно-исследовательской работы; методами анализа изучаемых процессов и привлечением современных информационных технологий; процедурами корреляционного, регрессивного, дискриминантного и кластерного анализа результатов проведения экспериментов; анализом нейронных сетей; построением моделей различных объектов профессиональной деятельности на когнитивной основе; навыками использования современных инструментальных пакетов автоматизированного проектирования и исследований; навыками применения пакетов автоматизированного моделирования

№ п/п	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемый результат обучения по дисциплине		
			Знать	Уметь	Владеть
				моделирование процессов и объектов на базе современных стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследования; применять пакеты автоматизированного моделирования и проектирования информационных систем	

9. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет **3** зачетные единицы, всего **108** часов, из которых **36** часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (**12** часов - лекционные занятия; **24** часа - практические занятия, мероприятия промежуточной аттестации - **зачет**), **72** часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

10. Форма обучения: очная.

11. Применяемые образовательные технологии для различных видов учебных занятий и для контроля освоения обучающимися запланированных результатов обучения:

В процессе реализации дисциплины применяются следующие образовательные технологии:

- лекционно-практические (учебный материал сконцентрирован в блоки и преподносится как единое целое);
- коммуникативные (обучаемый выступает в роли активного, сознательного, равноправного участника учебного процесса, развивающегося по своим возможностям);
- саморазвивающиеся (основывается на самоорганизации, самоопределении, самоутверждении обучающегося);
- компьютерные (дидактическая система подготовки и трансляции информации обучающемуся, основным средством реализации которой является компьютер).

12. Форма аттестации

Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) – зачет.

13. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины, промежуточная аттестация	Всего часов	Из них:			Форма текущего контроля знаний/ промежуточной аттестации	Код компетенции	Литература для самостоятельной работы
			Лекции	Практические занятия (семинарские)	Самостоятельная работа			
1	Раздел I. Математическое моделирование биологических систем	48	6	12	30			
1.1	Тема 1. Современная аппаратура и новые методы исследования биологических объектов.	24	2	6	16	Контрольная работа, Собеседование	ОПК-7 ПК-4	1,2,3,6, 7,8,10
1.2	Тема 2. Получение и обработка биомедицинской информации.	24	4	6	14	Контрольная работа, Собеседование	ОПК-7 ПК-4	1,8,10
2	Раздел II. Цифровая обработка медицинских сигналов	60	6	12	42			
2.1	Тема 3. Введение в биомедицинские изображения. Фильтрация, восстановление и реконструкция биомедицинских изображений.	30	2	6	22	Устный доклад, Собеседование	ОПК-7 ПК-4	1,4,5,9, 8,10
2.2	Тема 4. Морфологическая обработка и сегментация изображений. Распознавание объектов	30	4	6	20	Устный доклад, Собеседование	ОПК-7 ПК-4	1,6,8,10
	ИТОГО	108	12	24	72			

14. Содержание разделов и тем.

Раздел I. Математическое моделирование биологических систем.

Тема 1. Современная аппаратура и новые методы исследования биологических объектов.

Обзор различных типов и поколений компьютерных томографов, как наиболее распространенных средств анализа внутреннего строения биологических объектов. Характеристики аппаратов: размер вокселя, шкала изображений, эффективная доза, области применения. Введение в среду программирования MATLAB. Знакомство с форматом хранения биомедицинской информации DICOM. Чтение и запись файлов DICOM.

Тема 2. Получение и обработка биомедицинской информации.

Метод автоматизированного выделения объектов различной плотности на изображении сечения исследуемого объекта. Разработка программного кода для построения сечений в исследуемом объеме с использованием алгоритма Брезенхама и применением аффинных преобразований. Изучение различных фильтров для подавления шумов и автоматизированного определения границ изображения. Синтез трехмерных объектов на основе построенных сечений. Создание интерфейса программного обеспечения.

Раздел II. Цифровая обработка медицинских сигналов

Тема 3. Введение в биомедицинские изображения. Фильтрация, восстановление и реконструкция биомедицинских изображений.

Формирование изображений с помощью гамма-лучей. Рентгеновские изображения. Изображения в ультрафиолетовом диапазоне. Изображения в видимом и инфракрасном диапазонах. Основные стадии цифровой обработки изображений. Основы фильтрации в частотной области. Частотные фильтры сглаживания изображения. Повышения резкости изображений частотными фильтрами. Избирательная фильтрация. Модель процесса искажения/восстановления изображения. Модели шума. Подавление шумов — пространственная фильтрация. Подавление периодического шума — частотная фильтрация. Фильтрация методом минимизации среднего квадрата отклонения (винеровская фильтрация). Реконструкция изображения по проекциям. Реконструкция по проекциям в параллельных пучках методом фильтрации и обратного проецирования. Реконструкция на основе фильтрованных обратных проекций с веерным пучком.

Тема 4. Морфологическая обработка и сегментация изображений. Распознавание объектов.

Эрозия и дилатация. Размыкание и замыкание. Некоторые основные морфологические алгоритмы. Морфология полутоновых изображений. Обнаружение точек, линий и перепадов. Пороговая обработка. Сегментация на отдельные области. Сегментация по морфологическим водоразделам. Использование движения при сегментации. Образы и классы образов. Распознавание на основе методов теории принятия решений. Статистически оптимальные классификаторы. Нейронные сети. Структурные методы распознавания. Сопоставление номеров фигур. Сопоставление строк символов.

15. Организация самостоятельной работы

При организации самостоятельно работы обучающимся необходимо учитывать следующие особенности взрослых людей:

- осознанное отношение к процессу своего обучения;

- потребность в самостоятельности;
- потребность в осмысленности обучения (для решения важной проблемы и достижения конкретной цели), что обеспечивает мотивацию;
- наличие жизненного опыта – важного источника обучения;
- влияние на процесс обучения профессиональных, социальных, бытовых и временных факторов.

В качестве главного признака самостоятельной деятельности рассматривается не то, что магистр работает без привлечения преподавателя, а то, что каждое действие, выполняемое обучающимся, им осознается, подчиненно цели, которую он сам поставил.

Основной смысл самостоятельной работы состоит в том, чтобы:

- мотивировать магистра к освоению учебного материала;
- повысить ответственность обучающегося за свою учебу;
- формировать у магистра системного мышления на основе самостоятельной работы.

Самостоятельная работа требует упорядочения и системной организации.

Основным видом самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины является изучение литературы и интернет-ресурсов, рекомендуемых в рабочей программе дисциплины, а также, ответы на вопросы для самопроверки и подготовка в промежуточной аттестации,

При работе с литературой целесообразно придерживаться такой последовательности. Сначала прочитать весь заданный текст в быстром темпе. Цель такого чтения заключается в том, чтобы создать общее представление об изучаемом материале, понять общий смысл прочитанного. Затем прочитать вторично, более медленно, чтобы в ходе чтения понять и запомнить смысл каждой фразы, каждого положения и вопроса в целом.

Чтение приносит пользу и становится продуктивным, когда сопровождается записями. Это может быть составление плана прочитанного текста, тезисы или выписки, конспектирование и др. Выбор вида записи зависит от характера изучаемого материала и целей работы с ним. Если содержание материала несложное, легко усваиваемое, можно ограничиться составлением плана. Если материал содержит новую и трудно усваиваемую информацию, целесообразно его законспектировать.

Различаются четыре типа конспектов:

- план-конспект – это развернутый детализированный план, в котором по наиболее сложным вопросам даются подробные пояснения;
- текстуальный конспект – это воспроизведение наиболее важных положений и фактов источника;

- свободный конспект – это четко и кратко изложенные основные положения в результате глубокого изучения материала, могут присутствовать выписки, цитаты, тезисы; часть материала может быть представлена планом;
- тематический конспект – составляется на основе изучения ряда источников и дает ответ по изучаемому вопросу.

В процессе изучения материала источника и составления конспекта нужно обязательно применять различные выделения, подзаголовки, создавая блочную структуру конспекта. Это делает конспект легко воспринимаемым и удобным для работы.

16. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестации

16.1. Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль направлен на систематическую проверку качества (не менее двух раз за период освоения дисциплины) усвоения разделов (тем) дисциплины. Выбор оценочного средства для проведения текущего контроля успеваемости на усмотрение преподавателя.

Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости

Примеры задач:

Задача 1. Найти состояния равновесия динамической системы, определить их тип и характер устойчивости, построить фазовый портрет (в том числе сведя к уравнению $dy/dx=f(x,y)$, найти изоклины). При наличии управляющего параметра построить фазовый портрет в каждом из указанных случаев.

Примеры контрольных вопросов:

1. Обзор различных типов и поколений компьютерных томографов, как наиболее распространенных средств анализа внутреннего строения биологических объектов.
2. Характеристики аппаратов: размер вокселя, шкала изображений, эффективная доза, области применения.
3. Среда программирования MATLAB.
4. Формат хранения биомедицинской информации DICOM.
5. Чтение и запись файлов DICOM.
6. Метод автоматизированного выделения объектов различной плотности на изображении сечения исследуемого объекта.
7. Разработка программного кода для построения сечений в исследуемом объеме с использованием алгоритма Брезенхама и применением аффинных преобразований.
8. Изучение различных фильтров для подавления шумов и автоматизированного определения границ изображения.

9. Синтез трехмерных объектов на основе построенных сечений.
10. Создание интерфейса программного обеспечения
11. Формирование изображений с помощью гамма-лучей.
12. Рентгеновские изображения.
13. Изображения в ультрафиолетовом диапазоне.
14. Изображения в видимом и инфракрасном диапазонах.
15. Основные стадии цифровой обработки изображений.
16. Основы фильтрации в частотной области.
17. Частотные фильтры сглаживания изображения.
18. Повышения резкости изображений частотными фильтрами.
19. Избирательная фильтрация.
20. Модель процесса искажения/восстановления изображения.
21. Модели шума.
22. Подавление шумов — пространственная фильтрация.
23. Подавление периодического шума — частотная фильтрация.
24. Фильтрация методом минимизации среднего квадрата отклонения (винеровская фильтрация).
25. Реконструкция изображения по проекциям.
26. Реконструкция по проекциям в параллельных пучках методом фильтрации и обратного проецирования.
27. Реконструкция на основе фильтрованных обратных проекций с веерным пучком.
28. Эрозия и дилатация. Размыкание и замыкание.
29. Некоторые основные морфологические алгоритмы. Морфология полутоновых изображений.
30. Обнаружение точек, линий и перепадов. Пороговая обработка.
31. Сегментация на отдельные области. Сегментация по морфологическим водоразделам.
32. Использование движения при сегментации.
33. Образы и классы образов.
34. Распознавание на основе методов теории принятия решений.
35. Статистически оптимальные классификаторы.
36. Нейронные сети.
37. Структурные методы распознавания.
38. Сопоставление номеров фигур.
39. Сопоставление строк символов.

Примерные темы докладов-презентаций:

1. Форматы хранения биомедицинской информации.
2. Формирование изображений с помощью гамма-лучей.

3. Реконструкция по проекциям в параллельных пучках методом фильтрации и обратного проецирования.
4. Предельный цикл как математический образ автоколебаний.
5. Формальные модели нейронов и границы их применимости.

Примеры тестовых заданий:

1. Каких видов динамических систем не существует:

- А. Сосредоточенные и распределенные;
- Б. Непрерывные и дискретные;
- В. Тороидальные и сферические;
- Г. Консервативные и диссипативные.

2. Каких динамических систем не существует при классификации по энергетическому принципу:

- А. Гамильтоновы;
- Б. Автоматизированные;
- В. Диссипативные;
- Г. Консервативные.

3. Какие собственные значения отвечают состоянию равновесия типа центр:

- А. Комплексно-сопряженные с положительной действительной частью;
- Б. Действительные разных знаков;
- В. Действительные одного знака;
- Г. Пара чисто мнимых.

4. Какие собственные значения отвечают состоянию равновесия типа неустойчивый фокус:

- А. Комплексно-сопряженные с положительной действительной частью;
- Б. Действительные разных знаков;
- В. Действительные одного знака;
- Г. Пара чисто мнимых.

5. Какой тип состояния равновесия двумерной системы всегда является неустойчивым:

- А. Седло;
- Б. Узел;
- В. Фокус;
- Г. Центр.

6. Какой тип состояния равновесия двумерной системы всегда является устойчивым:

- А. Седло;
- Б. Узел;
- В. Фокус;
- Г. Центр.

7. Какая бифуркация отвечает рождению в фазовом пространстве динамической системы предельного цикла:

- А. Бифуркация Богданова-Такенса;
- Б. Бифуркация Андронова-Хопфа;
- В. Бифуркация Гаврилова-Гюккенхеймера;
- Г. Бифуркация Неймарка-Сакера.

8. Какой эффект не характерен для нелинейных динамических систем:

- А. Бистабильность;
- Б. Гистерезис;
- В. Изохронность;
- Г. Анггармоничность.

9. Чем характеризуется каскад бифуркаций удвоения периода:

- А. Числом Авогадро;
- Б. Диаграммой Фейнмана;
- В. Константой Фейгенбаума;
- Г. Числом Рейнольдса.

16.2. Промежуточная аттестация

Целью промежуточной аттестации является оценка соответствия результатов освоения дисциплины планируемым результатам обучения: указанных в разделах 7 и 8 настоящей рабочей программы дисциплины.

Материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) представлен в оценочных материалах

Критерии и шкала оценивания

Критерии оценивания	Шкала оценивания	
	Не зачтено	Зачтено
Полнота знаний	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Могут быть допущены незначительные ошибки
Наличие умений	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи, выполнены все задания. Могут быть допущены незначительные ошибки.
Наличие навыков (владение опытом)	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач. Могут быть допущены незначительные ошибки.

Мотивация (личностное отношение)	Учебная активность и мотивация слабо выражены, готовность решать поставленные задачи качественно отсутствуют.	Проявляется учебная активность и мотивация, демонстрируется готовность выполнять поставленные задачи.
Характеристика сформированности компетенций	Компетенция в полной мере не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков недостаточно для решения практических (профессиональных) задач. Требуется повторное обучение.	Сформированность компетенций соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков и мотивации в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач.
Уровень сформированности компетенций	Низкий.	Средний/высокий.

17. Ресурсное обеспечение

Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Аудитория № 4 (для проведения лекционных, практических занятий, промежуточной аттестации)

Автоматизированное рабочее место (монитор, системный блок, клавиатура, компьютерная мышь) с доступом в Интернет – 1 шт.;

Ноутбук HP ElliteBook 840 G3 – 11 шт.;

Доска магнитно-маркерная 100х150 см лаковое покрытие Attache BlackFrame – 1 шт.;

Мультимедийный проектор Epson H311B- 1 шт.;

Экран настенный с электроприводом Digis Electra 160 - 1 шт.;

Веб-камера Logitech HD Webcam C270 со встроенным микрофоном- 1 шт.;

Точка доступа Ubiquiti UniFi AC LR – 1шт.;

Кресло складное с пюпитром СКП-1 – 20 шт.;

Стол – 2 шт.;

Кресло – 2 шт.

Аудитория № 10 (для проведения лекционных, практических занятий, промежуточной аттестации, итоговой аттестации)

Автоматизированное рабочее место (монитор, системный блок, клавиатура, компьютерная мышь) с доступом в Интернет – 15 шт.;

Доска магнитно-маркерная 100х150 см лаковое покрытие Attache BlackFrame – 1 шт.;

Мультимедийный проектор Mitsubishi XD550U - 1 шт.;

Веб-камера Logitech HD Webcam C270 со встроенным микрофоном- 1 шт.;

Точка доступа Ubiquiti UniFi AC LR – 1шт.;

Экран настенный с электроприводом Digis Electra 160 - 1 шт.;

Стул – 16 шт.;

Кресло – 1 шт.;

Стол – 13 шт.

Аудитория № 8 (для самостоятельной работы)

Автоматизированное рабочее место (монитор, системный блок, клавиатура, компьютерная мышь) с доступом в Интернет – 4 шт.;

Веб-камера Logitech HD Webcam C270 со встроенным микрофоном- 4 шт.;

Точка доступа Ubiquiti UniFi AC LR – 1шт.;

Стул – 6 шт.;

Стол – 6 шт.

18. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:

18.1. Литература

1. Батура, В.А. Обработка изображений в системе MATLAB: лабораторные работы: учебно-методическое пособие. Университет ИТМО, Санкт-Петербург; 2019; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=563997> (Электронное издание)

2. Биоинформатика: учебник / Н. Ю. Часовских. - Электронные текстовые данные. - Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2020. - 352 с.

3. Вершинин, Г. А. Математические методы анализа и компьютерное моделирование медико-биологических процессов: практикум. Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск; 2019; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=613840> (Электронное издание)

4. Введение в биоинформатику / А. Леск; Пер. с англ. под ред. А.А. Миронова, В.К. Швядаса. - М. : БИНOM. Лаборатория знаний, 2009. - 318 с.

5. Введение в вычислительную биологию: эволюционный подход / Б. Хаубольд, Т. Вие. - М. ; Ижевск : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика": Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. - 456 с.

6. Динамические модели процессов в клетках и субклеточных наноструктурах / Под общ. ред. Г.Ю. Ризниченко, А.Б. Рубина. - М.; Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика": Институт компьютерных исследований, 2010. - 448 с.

7. Искусственные иммунные системы и их применение / Пер. с англ. А.А. Романюхи, С.Г. Руднева; Под ред. Д. Дасгупты. - Научное издание. - М.: Физматлит, 2006. - 344 с.

8. Математическая биология, биоинформатика : учебно-методическое пособие / В.Д. Проценко, Е.А. Лукьянова. - Электронные текстовые данные. - М. : РУДН, 2016. - 69 с.

9. Математическая биология. Т. 1 : Введение / Д. Мюррей ; пер. с англ. Л.С. Ванаг и А.Н. Дьяконовой; под науч. ред. Г.Ю. Ризниченко. - Москва ; Ижевск : НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика" : Институт компьютерных исследований, 2009. - 776 с.

10. Математическая биология. Т. 2 : Пространственные модели и их приложения в биомедицине / Д.Д. Мюррей ; под науч. ред. Г.Ю. Ризниченко;

пер. с англ. А.Н. Дьяконовой, А.В. Дюба, П.В. Шеякина. - Москва ; Ижевск : НИЦ " Регулярная и хаотическая динамика" : Ижевский институт компьютерных исследований, 2011. - 1104 с.

11. Молекулярная и клеточная биофизика / М.Б. Джаксон ; Пер. с англ. под ред. А.П. Савицкого, А.И. Журавлева. - М. : Мир : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. - 551 с.

12. Молекулярное моделирование: теория и практика : научное издание / Х. Хельтзе ; Под ред. В.А.Палюлина, Е.В.Радченко; Пер. с англ. А.А.Олиференко и др. - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2009. - 318 с.

13. Шефер, Е. А. Цифровая обработка изображений : учебное пособие. Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург; 2019; <http://www.iprbookshop.ru/102493.html> (Электронное издание)

18.2. Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- Microsoft Office Стандартный 2010
- Microsoft Office 2016 Professional Plus
- Научная электронная библиотека elibrary.ru
- Научная электронная библиотека УНИБЦ (НБ) РУДН library@rudn.ru
- Научная электронная библиотека <https://cyberleninka.ru/>
- Сайт Департамента здравоохранения города Москвы. Режим доступа: <https://mosgorzdrav.ru/>, свободный.
- Официальный интернет-портал правовой информации. Государственная система правовой информации. Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/ips/>, свободный.
- Сайт Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. Режим доступа: <https://rospotrebnadzor.ru/documents/documents.php>, свободный.
- Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/>, свободный.
- Сайт ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ». Режим доступа: <http://niioz.ru/>, свободный.

Зарубежные ресурсы:

- Реферативная база научных публикаций Web of Science <http://www.webofscience.com>
- База Scopus scopus.com
- Всемирная полнотекстовая база PhD диссертаций Proquest <https://www.proquest.com/>
- Международная база данных научных периодических изданий Jstore <https://www.jstor.org/>