

**МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**«Первая Академия» The First Academy  
AN EDU GLOBAL LIMITED COMPANY**



**УТВЕРЖДЕНО**  
Директор

Томин В.И.  
Приказ № 1  
от «12» декабря 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**курса внеурочной деятельности «Основы биохимии и молекулярной  
биологии»**

для обучающихся 10-11 классов

**г. Нячанг, Вьетнам, 2024**

*Разработчик программы:*

**Колясников Олег Владимирович,**

старший методист Института развития профильного обучения  
ГАОУ ВО «Московский городской педагогический университет»

*Рецензенты:*

**Паршутина Людмила Александровна,**

кандидат педагогических наук, заведующая лабораторией естественно-  
научного образования ФГБНУ «Институт содержания и методов обучения»

**Заграничная Надежда Анатольевна,**

кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник естественно-  
научного образования ФГБНУ «Институт содержания и методов обучения»

## СОДЕРЖАНИЕ

---

Пояснительная записка.....	4
Содержание курса внеурочной деятельности «Основы биохимии и молекулярной биологии».....	9
10 класс.....	9
11 класс.....	12
Планируемые результаты освоения курса внеурочной деятельности «Основы биохимии и молекулярной биологии» .....	18
Личностные результаты.....	18
Метапредметные результаты .....	20
Предметные результаты .....	23
Тематическое планирование .....	25
10 класс.....	25
11 класс.....	30
Организационно-педагогические условия реализации Программы .....	36
Литература и электронные ресурсы .....	37

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

---

Биохимия и молекулярная биология изучают молекулярные механизмы жизнедеятельности, начиная с органических веществ и оканчивая внеклеточными системами организма. Результаты, полученные в рамках описанных дисциплин, служат краеугольным камнем в современной науке о жизни. Экспериментальное подтверждение концепций биохимии и молекулярной биологии позволило создать принципиально новый базис для различных областей медицины, биотехнологии, сельского хозяйства, охраны окружающей среды и других прикладных наук. Развитие биохимии и молекулярной биологии находится в «мейнстриме» современной науки. Десятки ученых, работающих в данной области, стали лауреатами Нобелевской премии. Пленительная сложность молекулярной биологии привлекает тысячи молодых ученых в названную область.

Рабочая программа курса внеурочной деятельности «Основы биохимии и молекулярной биологии» (далее – Программа) естественно-научной направленности помогает обучающимся сформировать естественно-научное мировоззрение, глубже понять молекулярные основы, научиться проводить учебно-исследовательский эксперимент, получить навык работы с оригинальными научными текстами.

### **Актуальность Программы**

Биохимия и молекулярная биология за последние полвека существенно изменили понимание основ жизни. В западной образовательной традиции биохимия и молекулярная биология традиционно выделяются в раздел наук о жизни («Life Science»). В российской педагогике отдельные аспекты биохимии и молекулярной биологии присутствуют в курсах химии и биологии. К сожалению, время, уделяемое изучению их основ в общеобразовательной школе в рамках курсов химии и биологии, непропорционально мало, хотя нельзя не отметить существенное усовершенствование федеральной рабочей

программы среднего общего образования по учебному предмету «Биология» на углубленном уровне. Тем не менее между преподаванием науки о жизни в школе и даже младшими курсами университетов существует существенный разрыв. Программа призвана компенсировать этот пробел, по крайней мере, для мотивированных обучающихся, планирующих специализацию в области фундаментальных наук о жизни, медицины и других родственных наук.

**Новизна Программы** заключается в том, что в ее основу положено планомерное ознакомление обучающихся с уровнями организации живой материи на основе современных научных данных.

Реализация программы содействует конкретизации знаний о молекулярных законах работы организмов, расширению кругозора обучающихся, помогает им в профориентации и получении базовых знаний для дальнейшей специализации.

**Педагогическая целесообразность** Программы заключается в том, что она создает условия для формирования у обучающихся естественно-научной картины мира, позволяет научиться критическому осмыслению информации, дает возможность получить навык проведения учебно-исследовательского эксперимента, создает базис для углубленного изучения молекулярных процессов жизни в высшей школе.

**Цель Программы** – познакомить обучающихся с основными классами молекул в живых организмах и ролью, которую они играют; научить видеть взаимосвязи в проявлениях молекулярных процессов, сформировать понятие о целостности совокупности метаболических путей в организме.

### **Варианты реализации Программы и формы проведения занятий**

Реализация Программы предполагает сочетание лекционной и семинарской форм работы с элементами практикума: лекции, семинары, дискуссии, защиты проектов, учебно-исследовательский эксперимент, практические работы: изображение химических формул, визуализация трехмерных объектов и пр.

В семинарской части возможна смена индивидуальных и групповых форм

проведения в зависимости от предпочтений ~~преподавателя~~педагога. В практической части встречаются как фронтальный учебно-исследовательский эксперимент, так и компьютерный практикум.

При реализации Программы используется вычислительная техника, обеспечивающая доступ к специализированному программному обеспечению, базам данных научной информации, а также научной литературе.

Программа разработана для обучающихся 10–11 классов ~~общеобразовательных школ~~. Общее число часов, рекомендованных для реализации Программы, – 136 часов: в 10 классе – 68 часов (2 часа в неделю), в 11 классе – 68 часа (2 часа в неделю). ~~Программа рассчитана на 2 года обучения.~~ Общее количество часов составляет 136 ч.

Программа реализуется 2 раза в неделю по 2 ч.

Формы контроля служат для определения результативности освоения Программы обучающимися. Аттестация проводится 1 раз в год: промежуточная – по итогам первого года обучения, итоговая – весной второго года обучения.

*Формы проведения аттестации:*

- тестирование;
- практические занятия;
- зачетная работа.

### **Взаимосвязь с федеральной рабочей программой воспитания**

Программа разработана с учетом рекомендаций федеральной рабочей программы воспитания для общеобразовательных организаций и учитывает психолого-педагогические особенности соответствующей возрастной категории обучающихся.

В ходе реализации Программы возможно сочетать как интеллектуальное, так и социальное развитие обучающихся, создающее основы для их самоопределения на основе духовно-нравственных ценностей.

К задачам реализации Программы можно отнести достижение личностных результатов освоения федеральных образовательных программ по химии и биологии в соответствии с ФГОС СОО, а именно: сформированность ценностей самостоятельности и инициативы, готовность обучающихся к саморазвитию, самостоятельности и личностному самоопределению, наличие мотивации к целенаправленной социально значимой деятельности, сформированность внутренней позиции личности как особого ценностного отношения к себе, окружающим людям и жизни в целом.

Программа соответствует следующим основным направлениям воспитания: гражданское воспитание, патриотическое воспитание, духовно-нравственное воспитание, эстетическое воспитание, формирование культуры здорового образа жизни, трудовое воспитание, экологическое воспитание, воспитание ценности научного познания.

### **Особенности работы преподавателя-педагога по Программе**

Перед преподавателем-педагогом, работающим по Программе, стоит задача гармоничного сочетания элементов химии, биологии, физики и информатики, которые необходимы для конвергентного понимания науки о жизни. Усвоение обучающимися новых знаний в этой области тесно связано с успешностью реализации учебно-исследовательского эксперимента и практических работ, заложенных в Программу. При недостаточности материально-технического оснащения образовательной организации рекомендуется сделать акцент в реализации Программы на работу с цифровыми ресурсами. Возможно также сокращение количества планируемых практических работ для углубления работы над теоретическими разделами Программы.

В любом случае освоение Программы должно быть совместным действием преподавателя-педагога и обучающихся. Преподавателю-Педагогу необходимо владеть основами химического и биологического учебно-исследовательского эксперимента, а также первичными навыками в области биоинформатики. Это позволит ему деятельно участвовать в практической работе обучающихся,

приводить их к результативному финалу учебно-исследовательского эксперимента, помогать с обработкой данных.

Отличительная особенность Программы состоит в том, что в ее построении и реализации:

- развиваются межпредметные связи, заложенные в [основной образовательной программе среднего общего образования](#);

- восполняется дефицит современной научной информации, проводится четкая линия изложения от классических достижений науки о жизни к современным наукоемким прикладным дисциплинам;

- развиваются познавательные компетенции обучающихся;

- активно используются современные экспериментальные и вычислительные методы;

- поддерживается ориентация обучающихся на последующую специализацию в области фундаментальной науки о жизни и прикладных наук, в частности в медицине.

# СОДЕРЖАНИЕ КУРСА ВНЕУРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ «ОСНОВЫ БИОХИМИИ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ»

---

## 10 КЛАСС

### **Раздел 1. Организационное занятие «Биохимия и молекулярная биология на стыке наук». Цели и задачи курса. Инструктаж**

*Теория.* Введение в Программу. Формы и методы деятельности. План работы на учебный год. Инструктаж по технике безопасности.

*Практика.* Первичная диагностика. Входное тестирование.

### **Раздел 2. Основы биоорганической химии**

#### ***Тема 2.1. Вода в живой клетке***

*Теория.* Физико-химические свойства воды. Водородные связи. Растворимость в воде. Тепловой эффект растворения. Кислотно-основные взаимодействия. Водородный показатель. рН-метрия. Буферные системы.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Кислотно-основное титрование сильных и слабых кислот и оснований. Приготовление буферных растворов.

#### ***Тема 2.2. Липиды и мембраны***

*Теория.* Насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты. Глицерин и триацилглицериды. Воска. Глицерофосфолипиды. Липидный бислой. Стерины. Жирорастворимые витамины (А, D, E).

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Экстракция жиров. Перегонка эфирных масел с водяным паром. Практическая работа: Освоение программного обеспечения для изображения химических структур. Представление в виде векторного изображения структур насыщенных и ненасыщенных жиров.

#### ***Тема 2.3. Углеводы***

*Теория.* Альдозы и кетозы. Пентозы и гексозы. Стереохимия углеводов. Проекционные формулы Фишера. Развернутая и циклическая форма. Глюкоза и конформация «кресло». Витамин С.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Определение содержания витамина С в образцах растворов иодометрическим титрованием. Практическая работа: Представление в виде векторного изображения ряда структур моносахаридов.

#### ***Тема 2.4. Аминокислоты и пептиды***

*Теория.* Природные аминокислоты. Классификация. Стереохимия. Пептидная связь. Пептиды. Инсулин. Расшифровка последовательности пептидов.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Построение кривых титрования природных аминокислот. Проведение разделения аминокислот с помощью бумажной хроматографии.

#### ***Тема 2.5. Нуклеиновые основания, нуклеозиды и нуклеотиды***

*Теория.* Пуриновые и пиримидиновые азотистые основания. Рибонуклеозиды и дезоксирибонуклеозиды. Фосфорилирование. Фосфодиэфирная связь. Аденозинтрифосфат.

*Практика.* Практическая работа: Построение шаро-стержневых пространственных моделей нуклеотидов из конструктора.

### **Раздел 3. Строение биологических макромолекул**

#### ***Тема 3.1. Строение олиго- и полисахаридов***

*Теория.* Гликозидная связь. Дисахариды. Сахароза. Декстрины. Полисахариды. Гликоген. Крахмал. Целлюлоза. Лигнин. Агароза. Хитин.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Иод-крахмальная реакция. Кислотный гидролиз крахмала.

#### ***Тема 3.2. Строение молекул белка***

*Теория.* Первичная последовательность белка. Основные элементы вторичной структуры белка. Альфа-спираль и бета-слой. Дисульфидные связи. Третичная структура белка. Глобулярные и фибриллярные белки. Простетические группы. Четвертичная структура белка. Миоглобин и гемоглобин. Посттрансляционные модификации.

*Практика.* Практическая работа: Моделирование элементов вторичной структуры белка. Освоение программного обеспечения для визуализации пространственных структур. Визуализация пространственных моделей глобулярных белков.

### ***Тема 3.3. Строение нуклеиновых кислот***

*Теория.* Комплементарность азотистых оснований. Правила Чаргаффа. Сахаро-фосфатный остов. Двойная спираль. А-, В- и Z-формы. Хромосомы. Строение теломерных повторов. Циклическая ДНК (плазмиды). Суперспирализация. Структура РНК на примере тРНК. L-форма.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Выделение препаратов ДНК из растительных образцов. Электрофорез препаратов ДНК в агарозном геле. Практическая работа: Визуализация пространственных моделей нуклеиновых кислот.

## **Раздел 4. Функции биологических макромолекул**

### ***Тема 4.1. Функции полисахаридов***

*Теория.* Запасающая функция. Строительная функция. Сигнальная функция.

*Практика.* Фотометрическое определение содержания лигнина в образцах целлюлозы.

### ***Тема 4.2. Функции молекул белка***

*Теория.* Каталитическая функция. Классификация ферментов. Строительная функция. Коллаген. Тубулин. Сигнальная функция. Рецепторы. Киназы. Транспортная функция. Белки-переносчики. Молекулярные машины. Защитная функция. Иммуноглобулины.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Получение желатинового геля. Изучение его разрушения природными и неприродными агентами.

### ***Тема 4.3. Функции нуклеиновых кислот***

*Теория.* Информационная функция. Центральная догма молекулярной биологии. Реализация генетической информации. Метилирование ДНК.

Репарация ДНК. Сплайсинг. Каталитическая функция. Рибозимы. Сигнальная функция. Малые интерферирующие РНК. Концепция РНК-мира.

*Практика.* Практическая работа: Моделирование процесса трансляции. Анализ строения экспрессионной плазмиды на примере pUC19.

## **Раздел 5. Биоэнергетика**

### ***Тема 5.1. Получение энергии организмом***

*Теория.* Синтез и гидролиз АТФ. Гликолиз и брожение. Процесс окислительного фосфорилирования в митохондриях. Коферменты. Катаболизм жирных кислот. Цикл Кребса. Фотосинтез. Цикл Кальвина. Жизнь и второй закон термодинамики.

*Практика.* Практическая работа: Моделирование пространственной структуры окисленной и восстановленных форм ФАД, НАД и НАДФ. Представление в виде векторного изображения цикла трикарбоновых кислот.

### ***Тема 5.2. Метаболизм биополимеров***

*Теория.* Катаболизм белков и аминокислот. Синтез полисахаридов. Биосинтез и деградация нуклеотидов и нуклеиновых кислот.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Определение теплоты сгорания углеводсодержащих образцов. Промежуточная аттестация по итогам первого года обучения.

## **11 КЛАСС**

## **Раздел 6. Регуляция клеточных биологических процессов**

### ***Тема 6.1. Понятие о ферментативной кинетике***

*Теория.* Закон действующих масс в кинетике. Модель «ключ-замок». Уравнение Михаэлиса-Ментен. Линеаризация по Лайнуиверу-Берку.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Изучение кинетики окисления гидрохинона перекисью водорода в присутствии пероксидазы хрена.

### ***Тема 6.2. Регуляция активности ферментов***

*Теория.* Конкурентное и неконкурентное ингибирование ферментов. Кооперативность. pH-зависимость активности ферментов. Термическая

инактивация. Фосфорилирование ферментов. Частичный протеолиз ферментов.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Определение рН-зависимости действия папаина на коллагеновый гель.

### ***Тема 6.3. Передача сигнала в клетке***

*Теория.* Пути передачи сигнала. G-белки и ГТФ. Киназы и каскады киназ. Вторичные мессенджеры. Циклический аденозинмонофосфат. Ион кальция. Монооксид азота.

*Практика.* Практическая работа: Визуализация пространственных моделей интегральных мембранных G-белков.

### ***Тема 6.4. Регуляция процесса реализации генетической информации***

*Теория.* Регуляция репликации ДНК. Репликоны. Регуляция транскрипции ДНК. Репрессоры и факторы транскрипции. Регуляция трансляции. Антибиотики.

*Практика.* Практическая работа: Визуализация связывания антибиотиков с бактериальной рибосомой и обсуждение их механизма действия.

### ***Тема 6.5. Регуляция клеточного цикла***

*Теория.* Клеточный цикл. Факторы роста. Циклины и циклинзависимые киназы. Апоптоз. Злокачественное перерождение клеток. Теломераза. Предел Хейфлика.

*Практика.* Практическая работа: Визуализация пространственной структуры теломерного квадруплекса.

## **Раздел 7. Основы вирусологии**

### ***Тема 7.1. РНК-содержащие вирусы***

*Теория.* Одноцепочечная и двуцепочечная РНК. Капсид. Поверхностные антигены. Инфицирование. Размножение вируса. Сборка вирусных частиц. Ревертаза. Вирус табачной мозаики. Вирус гриппа. ВИЧ. Коронавирус.

*Практика.* Практическая работа: Визуализация структуры двуцепочечной РНК.

## ***Тема 7.2. ДНК-содержащие вирусы***

*Теория.* Отличия размножения от РНК-вирусов. Репликация вирусной ДНК. Бактериофаг лямбда. Вирус герпеса. Вирус ветряной оспы. Вирус натуральной оспы.

*Практика.* Практическая работа: Анализ изображений вирусных частиц, полученных различными методами.

## **Раздел 8. Строение прокариотической клетки**

### ***Тема 8.1. Составляющие части прокариотической клетки***

*Теория.* Биохимические особенности бактериальной клетки на примере *E.coli*. Нуклеоид и плазмиды. Клеточная мембрана. Капсула. Цитоскелет. Рибосомы. Жгутики. Тельца включения.

*Практика.* Практическая работа: Анализ механизма действия пенициллина и полусинтетических антибиотиков на его основе с применением пространственной визуализации.

### ***Тема 8.2. Особенности функционирования прокариотической клетки.***

*Теория.* Процесс обмена генетической информацией у бактериальных клеток. Процесс регуляции питания бактериальных клеток на примере лактозного оперона. Процесс размножения бактериальных клеток.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Выращивание культуры лактобактерий на твердой среде и проверка устойчивости их к антибиотикам пенициллинового ряда.

## **Раздел 9. Строение эукариотической клетки**

### ***Тема 9.1. Составляющие части эукариотической клетки***

*Теория.* Биохимические особенности эукариотической клетки на примере клетки кожи человека. Ядро. Митохондрии. Рибосомы. Гликокаликс и клеточная мембрана. Цитоскелет. Центриоль. Эндоплазматический ретикулум. Аппарат Гольджи. Лизосомы.

*Практика.* Практическая работа: Визуализация структуры органелл человеческой клетки на примере комплекса ядерной поры. Обсуждение механизма действия.

## ***Тема 9.2. Функционирование эукариотической клетки***

*Теория.* Процесс реализации генетической информации на клеточном уровне. Митоз. Кроссинговер. Хроматин и особенности процесса транскрипции. Роль эндоплазматического ретикулума в трансляции. Лизосомы и разложение продуктов метаболизма.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Выращивание клеток дрожжей в жидкой фазе на среде с присутствием сахарозы. Отгонка продуктов метаболизма дрожжей.

## ***Тема 9.3. Обеспечение взаимодействия между клетками, многоклеточность***

*Теория.* Образование тканей из отдельных клеток. Главный комплекс гистосовместимости (МНС I). Разделение ролей в процессе жизнедеятельности между тканями.

*Практика.* Практическая работа: Визуализация пространственной структуры главного комплекса гистосовместимости с презентующимся пептидом.

## **Раздел 10. Внеклеточные молекулярные системы**

### ***Тема 10.1. Транспорт веществ в организме***

*Теория.* Кровь как орган для транспортировки веществ. Роль особенностей связывания кислорода гемоглобином и миоглобином в переносе кислорода из легких в клетки. Контроль кислотности крови и перенос углекислоты. Карбоксиангидраза. Транспорт глюкозы. Инсулин. Система свертывания крови.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Измерение уровня кислорода и углекислого газа в окружающем воздухе и в выдохе в различных условиях.

### ***Тема 10.2. Молекулярные основы деятельности нервной системы***

*Теория.* Перенос импульса в нервной клетке. Роль натрий-калиевых насосов. Синаптическая щель и ацетилхолин. Ацетилхолинэстераза. Нейромедиаторы. Моноамины.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Измерение скорости прохождения нервного импульса.

### ***Тема 10.3. Движение и мышцы***

*Теория.* Молекулярные основы движения организма. Акта-миозиновый комплекс. Z-диски. Аэробный и анаэробный путь усвоения глюкозы клетками в зависимости от активности мышечной деятельности.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Измерение силы сжатия кисти силомером в зависимости от условий.

### ***Тема 10.4. Защита и иммунитет***

*Теория.* Клеточный иммунитет. Макрофаги. Лимфоциты. Гуморальный иммунитет. Комплемент. Иммуноглобулины. Схема иммунного ответа.

*Практика.* Практическая работа: Визуализация пространственной структуры гамма-иммуноглобулина и обсуждение механизма его действия.

### ***Тема 10.5. Гормоны и регуляция на уровне организма***

*Теория.* Гормональная регуляция жизнедеятельности. Адреналин. Стероидные гормоны. Тироксин. Роль недостатка иода в развитии организма.

*Практика.* Учебно-исследовательский эксперимент: Анализ влияния стресса на способность к физической активности и умственной деятельности.

## **Раздел 11. Основы биоинформатики**

### ***Тема 11.1. Анализ первичных последовательностей***

*Теория.* Проект «Геном человека». Базы данных генетической информации. Геномика, транскриптомика и протеомика. Инструменты сравнения последовательностей. Консервативность FASTA. BLAST.

*Практика.* Практическая работа: Выявление гомологичных областей в сравниваемых последовательностях оперонов. Выявление роли найденной гомологичности.

### ***Тема 11.2. Структурная биоинформатика***

*Теория.* Методы определения пространственных структур биополимеров. База данных RCSB. Визуализация пространственных структур. Молекулярное моделирование. Методы молекулярной динамики. Докинг.

*Практика.* Практическая работа: Предсказание активного центра сериновых протеаз на основании наложения структур трипсина, химотрипсина и эластазы.

## **Раздел 12. Актуальные проблемы в области биохимии и молекулярной биологии**

### *Тема 12.1. Урок-д*Д*искуссия.*

*Теория.* Актуальные проблемы в области биохимии и молекулярной биологии.

*Практика.* Итоговая аттестация. Зачетная работа.

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ КУРСА ВНЕУРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ «ОСНОВЫ БИОХИМИИ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ»

---

### ЛИЧНОСТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

#### *В сфере гражданского воспитания:*

готовность к совместной творческой деятельности при решении учебных и познавательных задач, выполнении экспериментов;

способность определять собственную позицию по отношению к явлениям современной жизни и объяснять ее.

#### *В сфере патриотического воспитания:*

уважение к процессу творчества в области теории и практического приложения науки о жизни, осознание того, что данные науки есть результат длительных наблюдений, кропотливых экспериментальных поисков, постоянного труда ученых и практиков;

способность оценивать вклад российских ученых в становление и развитие науки о жизни, понимание значения науки в познании законов природы, в жизни человека и современного общества.

#### *В сфере духовно-нравственного воспитания:*

осознание личного вклада в построение устойчивого будущего;

способность оценивать ситуацию и принимать осознанные решения, ориентируясь на морально-нравственные нормы и ценности.

#### *В сфере эстетического воспитания:*

эстетическое отношение к миру, включая эстетику научного и технического творчества.

#### *В сфере формирования культуры здоровья:*

соблюдение правил безопасного обращения с веществами в быту, повседневной жизни, в трудовой деятельности;

осознание последствий и неприятие вредных привычек (употребления алкоголя, наркотиков, курения);

понимание ценности правил индивидуального и коллективного безопасного поведения в ситуациях, угрожающих здоровью и жизни людей.

*В сфере трудового воспитания:*

коммуникативная компетентность в учебно-исследовательской деятельности, общественно полезной, творческой и других видах деятельности;

интерес к практическому изучению профессий различного рода, в том числе на основе применения предметных знаний по химии и биологии;

уважение к труду, людям труда и результатам трудовой деятельности;

готовность к осознанному выбору индивидуальной траектории образования, будущей профессии и реализации собственных жизненных планов с учетом личностных интересов, способностей к науке, интересов и потребностей общества.

*В сфере экологического воспитания:*

экологически целесообразное отношение к природе как источнику существования жизни на Земле;

наличие развитого экологического мышления, экологической культуры, опыта деятельности экологической направленности, умения руководствоваться ими в познавательной, коммуникативной и социальной практике, способности и умения активно противостоять идеологии хемофобии;

осознание глобального характера экологических проблем и путей их решения.

*В сфере ценностей научного познания:*

понимание специфики науки о жизни, осознание ее роли в формировании рационального научного мышления, создании целостного представления об окружающем мире как о единстве природы, человека и общества, в познании природных закономерностей и решении проблем сохранения природного равновесия;

понимание сущности методов познания, используемых в естественных науках, способность использовать получаемые знания для анализа и объяснения

явлений окружающего мира и происходящих в нем изменений, умение делать обоснованные заключения на основе научных фактов и данных, полученных в ходе учебно-исследовательского эксперимента, с целью получения достоверных выводов;

интерес к познанию, исследовательской деятельности;

готовность и способность к непрерывному образованию и самообразованию, к активному получению новых знаний в соответствии с жизненными потребностями.

## **МЕТАПРЕДМЕТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

***В сфере овладения познавательными универсальными учебными действиями:***

*Базовые логические действия:*

самостоятельно формулировать и актуализировать проблему, рассматривать ее всесторонне;

использовать при освоении знаний приемы логического мышления (анализа, синтеза, сравнения, классификации, обобщения), раскрывать смысл научных понятий (выделять их характерные признаки, устанавливать связи с другими понятиями);

определять цели деятельности, задавая параметры и критерии их достижения, соотносить результаты деятельности с поставленными целями;

использовать научные понятия для объяснения фактов и явлений живой природы;

строить логические рассуждения (индуктивные, дедуктивные, по аналогии), выявлять закономерности и противоречия в рассматриваемых явлениях, формулировать выводы и заключения;

применять схемно-модельные средства для представления существенных связей и отношений в изучаемых объектах, а также противоречий разного рода, выявленных в различных информационных источниках;

разрабатывать план решения проблемы с учетом анализа имеющихся материальных и нематериальных ресурсов.

*Базовые исследовательские действия:*

владеть научной терминологией, ключевыми понятиями и методами науки о жизни;

владеть навыками учебно-исследовательской и проектной деятельности, навыками разрешения проблем; способностью и готовностью к самостоятельному поиску методов решения практических задач, применению различных методов познания;

использовать различные виды деятельности по получению нового знания, его интерпретации, преобразованию и применению в учебных ситуациях, в том числе при создании учебных и социальных проектов;

формировать научный тип мышления, владеть научной терминологией, ключевыми понятиями и методами;

ставить и формулировать собственные задачи в образовательной деятельности и жизненных ситуациях;

уметь интегрировать знания из разных предметных областей.

*Работа с информацией:*

владеть навыками получения информации из источников разных типов, самостоятельно осуществлять поиск, анализ, систематизацию и интерпретацию информации различных видов и форм представления;

оценивать достоверность информации;

формулировать запросы и применять различные методы при поиске и отборе информации, необходимой для выполнения учебных задач;

самостоятельно выбирать оптимальную форму представления информации (схемы, графики, диаграммы, таблицы, рисунки и др.);

использовать научный язык в качестве средства при работе с информацией: применять химические, физические и математические знаки и символы, формулы, аббревиатуру, номенклатуру, использовать и преобразовывать знаково-символические средства наглядности.

***В сфере овладения универсальными коммуникативными действиями:***

осуществлять общение во внеурочной деятельности;

развернуто и логично излагать свою точку зрения с использованием языковых средств;

понимать и использовать преимущества командной и индивидуальной работы;

выбирать тематику и методы совместных действий с учетом общих интересов и возможностей каждого члена коллектива;

принимать цели совместной деятельности, организовывать и координировать действия по ее достижению: составлять план действий, распределять роли с учетом мнений участников, обсуждать результаты совместной работы;

оценивать качество своего вклада и каждого участника команды в общий результат по разработанным критериям;

предлагать новые проекты, оценивать идеи с позиции новизны, оригинальности, практической значимости;

осуществлять позитивное стратегическое поведение в различных ситуациях, проявлять творчество и воображение, быть инициативным.

***В сфере овладения универсальными регулятивными действиями:***

*Самоорганизация:*

использовать научные знания для выявления проблем и их решения в жизненных и учебных ситуациях;

самостоятельно осуществлять познавательную деятельность, выявлять проблемы, ставить и формулировать собственные задачи;

самостоятельно составлять план выполнения учебно-исследовательского эксперимента с учетом имеющихся ресурсов, собственных возможностей и предпочтений;

расширять рамки учебного предмета на основе личных предпочтений;

делать осознанный выбор, аргументировать его, брать на себя ответственность за решение;

оценивать приобретенный опыт;  
способствовать формированию и проявлению эрудиции в области естественных наук, постоянно повышать свой образовательный и культурный уровень.

*Самоконтроль:*

давать оценку новым ситуациям, вносить коррективы в деятельность, оценивать соответствие результатов целям;

принимать мотивы и аргументы других при анализе результатов деятельности;

использовать приемы рефлексии для оценки ситуации, выбора верного решения;

уметь оценивать риски и своевременно принимать решения по их снижению.

*Принятие себя и других:*

принимать себя, понимая свои недостатки и достоинства;

признавать свое право и право других на ошибки.

## **ПРЕДМЕТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

По итогам реализации Программы обучающиеся будут **знать**:

основные положения законов, теорий, закономерностей, правил, гипотез в области современных биохимии и молекулярной биологии;

биографические данные и основные достижения ведущих представителей науки о жизни;

основную терминологию, относящуюся к молекулярным основам жизнедеятельности;

строение основных веществ, синтезирующихся, использующихся и разрушающихся в организмах, от относительно небольших молекул до биополимеров;

строение основных надмолекулярных структур, содержащихся в организмах;

функции биологически активных веществ;  
особенности энергообмена организма;  
основы науки о ферментах;  
возможности регуляции жизнедеятельности на молекулярном уровне;  
основы цитологии во взаимосвязи с молекулярной организацией клетки;  
базовые внеклеточные системы организма, охарактеризованные на молекулярном уровне;  
основные методы биохимии и молекулярной биологии;  
основы биоинформатики;  
ключевые достижения в области биохимии и молекулярной биологии.

По итогам реализации Программы обучающиеся будут **уметь**:  
применять практические методы для проведения учебно-исследовательского эксперимента в области биохимии и молекулярной биологии;  
пользоваться терминологией, относящейся к биохимии и молекулярной биологии;  
различать различные уровни организации материи в клетках;  
собирать шаро-стержневые модели структур биологически активных веществ;  
использовать программное обеспечение для изображения химических структур;  
применять программное обеспечение для визуализации пространственной структуры биополимеров;  
самостоятельно работать с источниками дополнительной литературы и интернет-ресурсами, включая ресурсы на английском языке.

## ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

### 10 КЛАСС

<i>№ n/n</i>	<i>Наименование разделов и тем <u>учебного</u> <u>предмета</u><u>курса</u></i>	<i>Количество часов</i>	<i>Программное содержание</i>	<i>Характеристика деятельности обучающихся</i>
<b>Раздел 1. Организационное занятие «Биохимия и молекулярная биология на стыке наук»</b>				
1.1	Введение в Программу	2	Формы и методы деятельности. План работы на учебный год. Инструктаж по технике безопасности	Первичная диагностика. Входное тестирование
Итого по разделу		2		
<b>Раздел 2. Основы биоорганической химии</b>				
2.1	Вода в живой клетке	4	Физико-химические свойства воды. Водородные связи. Растворимость в воде. Тепловой эффект растворения. Кислотно-основные взаимодействия. Водородный показатель. рН-метрия. Буферные системы	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Кислотно-основное титрование сильных и слабых кислот и оснований. Приготовление буферных растворов
2.2	Липиды и мембраны	4	Насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты. Глицерин и триацилглицериды. Воска. Глицерофосфолипиды. Липидный бислой. Стерины. Жирорастворимые	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Экстракция жиров. Перегонка эфирных масел с водяным паром

			витамины (А, D, E)	
2.3	Углеводы	4	Альдозы и кетозы. Пентозы и гексозы. Стереохимия углеводов. Проекционные формулы Фишера. Развернутая и циклическая форма. Глюкоза и конформация «кресло». Витамин С	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Определение содержания витамина С в образцах растворов иодометрическим титрованием.  <i>Практическая работа:</i> Представление в виде векторного изображения ряда структур моносахаридов
2.4	Аминокислоты и пептиды	4	Природные аминокислоты. Классификация. Стереохимия. Пептидная связь. Пептиды. Инсулин. Расшифровка последовательности пептидов	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Построение кривых титрования природных аминокислот. Проведение разделения аминокислот с помощью бумажной хроматографии
2.5	Нуклеиновые основания, нуклеозиды и нуклеотиды	3	Пуриновые и пиримидиновые азотистые основания. Рибонуклеозиды и дезоксирибонуклеозиды. Фосфорилирование. Фосфодиэфирная связь. Аденозинтрифосфат	<i>Практическая работа:</i> Построение шаро-стержневых пространственных моделей нуклеотидов из конструктора

Итого по разделу		19		
<b>Раздел 3. Строение биологических макромолекул</b>				
3.1	Строение олиго- и полисахаридов	2	Гликозидная связь. Дисахариды. Сахароза. Декстрины. Полисахариды. Гликоген. Крахмал. Целлюлоза. Лигнин. Агароза. Хитин	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Иод-крахмальная реакция. Кислотный гидролиз крахмала
3.2	Строение молекул белка	5	Первичная последовательность белка. Основные элементы вторичной структуры белка. Альфа-спираль и бета-слой. Дисульфидные связи. Третичная структура белка. Глобулярные и фибриллярные белки. Простетические группы. Четвертичная структура белка. Миоглобин и гемоглобин. Посттрансляционные модификации	<i>Практические работы:</i> Моделирование элементов вторичной структуры белка. Освоение программного обеспечения для визуализации пространственных структур. Визуализация пространственных моделей глобулярных белков
3.3	Строение нуклеиновых кислот	5	Комплементарность азотистых оснований. Правила Чаргаффа. Сахаро-фосфатный остов. Двойная спираль. А-, В- и Z-формы. Хромосомы. Строение теломерных повторов. Циклическая ДНК (плазмиды). Суперспирализация. Структура РНК на примере тРНК.	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Выделение препаратов ДНК из растительных образцов. Электрофорез препаратов ДНК в агарозном геле.  <i>Практическая работа:</i> Визуализация

			L-форма	пространственных моделей нуклеиновых кислот
Итого по разделу		12		
<b>Раздел 4. Функции биологических макромолекул</b>				
4.1	Функции полисахаридов	4	Запасающая функция. Строительная функция. Сигнальная функция	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Фотометрическое определение содержания лигнина в образцах целлюлозы
4.2	Функции молекул белка	9	Каталитическая функция. Классификация ферментов. Строительная функция. Коллаген. Тубулин. Сигнальная функция. Рецепторы. Киназы. Транспортная функция. Белки-переносчики. Молекулярные машины. Защитная функция. Иммуноглобулин	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Получение желатинового геля. Изучение его разрушения природными и неприродными агентами
4.3	Функции нуклеиновых кислот	7	Информационная функция. Центральная догма молекулярной биологии. Реализация генетической информации. Метилирование ДНК. Репарация ДНК. Сплайсинг. Каталитическая функция. Рибозимы. Сигнальная	<i>Практические работы:</i> Моделирование процесса трансляции. Анализ строения экспрессионной плазмиды на примере pUC19

			функция. Малые интерферирующие РНК. Концепция РНК-мира	
Итого по разделу		20		
<b>Раздел 5. Биоэнергетика</b>				
5.1	Получение энергии организмом	7	Синтез и гидролиз АТФ. Гликолиз и брожение. Процесс окислительного фосфорилирования в митохондриях. Коферменты. Катаболизм жирных кислот. Цикл Кребса. Фотосинтез. Цикл Кальвина. Жизнь и второй закон термодинамики	<i>Практическая работа:</i> Моделирование пространственной структуры окисленной и восстановленных форм ФАД, НАД и НАДФ. Представление в виде векторного изображения цикла трикарбоновых кислот
5.2	Метаболизм биополимеров	8	Катаболизм белков и аминокислот. Синтез полисахаридов. Биосинтез и деградация нуклеотидов и нуклеиновых кислот	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Определение теплоты сгорания углеводовсодержащих образцов.  Промежуточная аттестация по итогам первого года обучения
Итого по разделу		15		
<b>Всего количество часов по программе за год</b>		68		

## 11 КЛАСС

№ п/п	Наименование разделов и тем <i>учебного предмета</i> курса	Количество часов	Программное содержание	Характеристика деятельности обучающихся
<b>Раздел 6. Регуляция клеточных биологических процессов</b>				
6.1	Понятие о ферментативной кинетике	6	Закон действующих масс в кинетике. Модель «ключ-замок». Уравнение Михаэлиса- Ментен. Линеаризация по Лайнуиверу-Берку	<i>Учебно- исследовательский эксперимент:</i> Изучение кинетики окисления гидрохинона перекисью водорода в присутствии пероксидазы хрена
6.2	Регуляция активности ферментов	4	Конкурентное и неконкурентное ингибирование ферментов. Кооперативность. рН-зависимость активности ферментов. Термическая инактивация. Фосфорилирование ферментов. Частичный протеолиз ферментов	<i>Учебно- исследовательский эксперимент:</i> Определение рН-зависимости действия папаина на коллагеновый гель
6.3	Передача сигнала в клетке	5	Пути передачи сигнала. G-белки и ГТФ. Киназы и каскады киназ. Вторичные мессенджеры. Циклический аденозинмонофосфат. Ион кальция. Монооксид азота	<i>Практическая работа:</i> Визуализация пространственных моделей интегральных мембранных G-белков
6.4	Регуляция процесса реализации генетической	5	Регуляция репликации ДНК. Репликоны. Регуляция	<i>Практическая работа:</i> Визуализация

	информации		транскрипции ДНК. Репрессоры и факторы транскрипции. Регуляция трансляции. Антибиотики	связывания антибиотиков с бактериальной рибосомой и обсуждение их механизма действия
6.5	Регуляция клеточного цикла	4	Клеточный цикл. Факторы роста. Циклины и циклинзависимые киназы. Апоптоз. Злокачественное перерождение клеток. Теломераза. Предел Хейфлика	<i>Практическая работа:</i> Визуализация пространственной структуры теломерного квадруплекса
Итого по разделу		24		
<b>Раздел 7. Основы вирусологии</b>				
7.1	РНК-содержащие вирусы	5	Одноцепочечная и двуцепочечная РНК. Капсид. Поверхностные антигены. Инфицирование. Размножение вируса. Сборка вирусных частиц. Ревертаза. Вирус табачной мозаики. Вирус гриппа. ВИЧ. Коронавирус	<i>Практическая работа:</i> Визуализация структуры двуцепочечной РНК
7.2	ДНК-содержащие вирусы	5	Отличия размножения от РНК-вирусов. Репликация вирусной ДНК. Бактериофаг лямбда. Вирус герпеса. Вирус ветряной оспы. Вирус натуральной оспы	<i>Практическая работа:</i> Анализ изображений вирусных частиц, полученных различными методами

Итого по разделу		10		
<b>Раздел 8. Строение прокариотической клетки</b>				
8.1	Составляющие части прокариотической клетки	4	Биохимические особенности бактериальной клетки на примере E.coli. Нуклеоид и плазмиды. Клеточная мембрана. Капсула. Цитоскелет. Рибосомы. Жгутики. Тельца включения	<i>Практическая работа:</i> Анализ механизма действия пенициллина и полусинтетических антибиотиков на его основе с применением пространственной визуализации
8.2	Особенности функционирования прокариотической клетки	2	Процесс обмена генетической информацией у бактериальных клеток. Процесс регуляции питания бактериальных клеток на примере лактозного оперона. Процесс размножения бактериальных клеток	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Выращивание культуры лактобактерий на твердой среде и проверка устойчивости их к антибиотикам пенициллинового ряда
Итого по разделу		6		
<b>Раздел 9. Строение эукариотической клетки</b>				
9.1	Составляющие части эукариотической клетки	4	Биохимические особенности эукариотической клетки на примере клетки кожи человека. Ядро. Митохондрии. Рибосомы. Гликокаликс и клеточная мембрана. Цитоскелет. Центриоль. Эндоплазматический ретикулум. Аппарат Гольджи. Лизосомы	<i>Практическая работа:</i> Визуализация структуры органелл человеческой клетки на примере комплекса ядерной поры. Обсуждение механизма действия
9.2	Функционирование эукариотической	2	Процесс реализации генетической	<i>Учебно-исследовательский</i>

	клетки		информации на клеточном уровне. Митоз. Кроссинговер. Хроматин и особенности процесса транскрипции. Роль эндоплазматического ретикулума в трансляции. Лизосомы и разложение продуктов метаболизма	<i>эксперимент:</i> Выращивание клеток дрожжей в жидкой фазе на среде с присутствием сахарозы. Отгонка продуктов метаболизма дрожжей
9.3	Обеспечение взаимодействия между клетками, многоклеточность	2	Образование тканей из отдельных клеток. Главный комплекс гистосовместимости (МНС I). Разделение ролей в процессе жизнедеятельности между тканями	<i>Практическая работа:</i> Визуализация пространственной структуры главного комплекса гистосовместимости с презентующимся пептидом
Итого по разделу		8		
<b>Раздел 10. Внеклеточные молекулярные системы</b>				
10.1	Транспорт веществ в организме	2	Кровь как орган для транспортировки веществ. Роль особенностей связывания кислорода гемоглобином и миоглобином в переносе кислорода из легких в клетки. Контроль кислотности крови и перенос углекислоты. Карбоксиангидраза. Транспорт глюкозы. Инсулин. Система	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Измерение уровня кислорода и углекислого газа в окружающем воздухе и в выдохе в различных условиях

			свертывания крови	
10.2	Молекулярные основы деятельности нервной системы	2	Перенос импульса в нервной клетке. Роль натрий-калиевых насосов. Синаптическая щель и ацетилхолин. Ацетилхолинэстераза. Нейромедиаторы. Моноамины	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Измерение скорости прохождения нервного импульса
10.3	Движение и мышцы	2	Молекулярные основы движения организма. Акта-миозиновый комплекс. Z-диски. Аэробный и анаэробный путь усвоения глюкозы клетками в зависимости от активности мышечной деятельности	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Измерение силы сжатия кисти силомером в зависимости от условий
10.4	Защита и иммунитет	2	Клеточный иммунитет. Макрофаги. Лимфоциты. Гуморальный иммунитет. Комплемент. Иммуноглобулины. Схема иммунного ответа	<i>Практическая работа:</i> Визуализация пространственной структуры гамма-иммуноглобулина и обсуждение механизма его действия
10.5	Гормоны и регуляция на уровне организма	2	Гормональная регуляция жизнедеятельности. Адреналин. Стероидные гормоны. Тироксин. Роль недостатка иода в развитии организма	<i>Учебно-исследовательский эксперимент:</i> Анализ влияния стресса на способность к физической активности и умственной деятельности

Итого по разделу		10		
<b>Раздел 11. Основы биоинформатики</b>				
11.1	Анализ первичных последовательностей	3	Проект «Геном человека». Базы данных генетической информации. Геномика, транскриптомика и протеомика. Инструменты сравнения последовательностей. Консервативность FASTA. BLAST	<i>Практическая работа:</i> Выявление гомологичных областей в сравниваемых последовательностях оперонов. Выявление роли найденной гомологичности
11.2	Структурная биоинформатика	3	Методы определения пространственных структур биополимеров. База данных RCSB. Визуализация пространственных структур. Молекулярное моделирование. Методы молекулярной динамики. Докинг	<i>Практическая работа:</i> Предсказание активного центра сериновых протеаз на основании наложения структур трипсина, химотрипсина и эластазы
Итого по разделу		6		
<b>Раздел 12. Актуальные проблемы в области биохимии и молекулярной биологии</b>				
12.1	<a href="#">ДУрок</a> дискуссия	4	Актуальные проблемы в области биохимии и молекулярной биологии	Итоговая аттестация. Зачетная работа
Итого по разделу		4		
<b>Всего количество часов по программе за год</b>		68		

## **ОРГАНИЗАЦИОННО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ**

---

### **Методическое обеспечение реализации Программы**

При реализации Программы в учебном процессе используются методические пособия, дидактические материалы, фото- и видеоматериалы, конструкторы для создания шаро-стержневых моделей химических структур; журналы и книги, обзоры и оригинальные публикации, базы данных, программное обеспечение для рисования химических структур и визуализации пространственных объектов, прочие материалы в Сети Интернет.

При проведении занятий используются:

- словесные методы обучения: лекции, объяснения, беседы, консультации;
- наглядные методы обучения: презентации, видеоматериалы, визуализации;
- исследовательские методы обучения – выполнение обучающимися определенных исследовательских заданий.

Усвоение материала контролируется при помощи тестирования и выполнения практических заданий. Заключительное занятие проводится в форме зачетной работы.

### **Материально-технические условия реализации Программы**

Продуктивность работы во многом зависит от качества материально-технического оснащения процесса. Программа реализуется в аудитории образовательной организации с применением технических средств обучения и лабораторного оборудования:

- компьютеры учителя и обучающихся;
- интерактивная доска;
- учебно-научное оборудование по химии и биологии.

## ЛИТЕРАТУРА И ЭЛЕКТРОННЫЕ РЕСУРСЫ

---

### Нормативная база

1. Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».
2. Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования (утвержден приказом Минобрнауки России от 17 мая 2012 г. № 413; зарегистрирован Минюстом России 07 июня 2012 г. № 24480).
3. Федеральная образовательная программа среднего общего образования (утверждена приказом Минпросвещения России от 18 мая 2023 г. № 371; зарегистрирован Минюстом России 12 июля 2023 г. № 74228).

### Учебная литература

1. Антипова Н.В., Даянова Л.К., Пахомов А.А., Третьякова Д.С. Биохимия. 10–11 классы. – Москва : Просвещение, 2023. – 128 с.
2. Банин В.В. Цитология. Функциональная ультраструктура клетки. Атлас : учебное пособие. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2016.
3. Богданова Т.Л., Солодова Е.А. Биология. Справочник для школьников и поступающих в вузы. Курс подготовки к ГИА, ЕГЭ и дополнительным испытаниям в вузы. – Москва : АСТ-Пресс Книга, 2017.
4. Варфоломеев С.Д. Химическая энзимология. – Москва : Научный мир, 2019. – 542 с.
5. Гордон Д. Принципы и методы биохимии и молекулярной биологии. – Москва : Бином, 2013.
6. Горбенко Н.В. Биотехнология. 10–11 классы. – Москва: Просвещение, 2024. – 143 с.
7. Захаров А.Ф., Бенюш В.А., Кулешов Н.П., Барановская Л.И. Хромосомы человека. Атлас. – Москва : Медицина, 1982.
8. Кольман Я., Рем К.-Г. Наглядная биохимия. – Москва : Лаборатория знаний, 2022. – 509 с.

9. Мушкамбаров Н.Н., Кузнецов С.Л. Молекулярная биология : учебное пособие. – Москва : Медицинское информационное агентство, 2016.
10. Нельсон Д., Кокс М. Основы биохимии Ленинджера. В 3-х томах. – Москва : Лаборатория знаний, 2022.
11. Никитин М. Происхождение жизни. От туманности до клетки. – Москва : Альпина нон-фикшн, 2020. – 542 с.
12. Основы молекулярной биологии клетки / Б. Альбертс, К. Хопкин, А. Джонсон [и др.]. – Москва : Лаборатория знаний, 2023. – 796 с.
13. Пиневиц А.В., Сироткин А.К., Гаврилова О.В., Потехин А.А. Вирусология : учебник. – Санкт-Петербург : СПбГУ, 2020. – 440 с.
14. Рис Э., Стернберг М. Введение в молекулярную биологию. – Москва : Мир, 2002. – 141 с.
15. Ройт А., Бростофф Дж., Мейл Д. Иммунология. – Москва : Мир, 2000. – 581 с.
16. Тарантул В.З. Геном человека: Энциклопедия, написанная четырьмя буквами. – Москва : Языки славянской культуры, 2003. – 389 с.
17. Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. Биология. В 3-х томах. – Москва : Лаборатория знаний, 2022.
18. Франк-Каменецкий М.Д. Самая главная молекула: от структуры ДНК к биомедицине XXI в. – Москва : Альпина нон-фикшн, 2017. – 335 с.
19. Ченцов Ю.С. Введение в клеточную биологию. – Москва : Академкнига, 2004. – 493 с.

### **Интернет-источники**

1. База данных пространственных структур биополимеров RCSB [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.rcsb.org/>
2. Кембриджская база данных структур органических соединений CCDC [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/>
3. База данных по геному человека // Национальный центр биотехнологической информации [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/datasets/taxonomy/9606/>

4. База протеомных данных Uniprot [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.uniprot.org/>
5. Коллекция биоинформатических инструментов и баз данных Job dispatcher // Европейский институт биоинформатики EMBL [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ebi.ac.uk/jdispatcher/>
6. Программное обеспечение для анализа первичных последовательностей FASTA // Центр биоинформатики Университета Киото [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.genome.jp/tools/fasta/>
7. Программное обеспечение для анализа первичных последовательностей BLAST // Национальный центр биотехнологической информации [Электронный ресурс]. – URL: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>
8. Программное обеспечение для изображения структур химических соединений ChemSketch [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.acdlabs.com/resources/free-chemistry-software-apps/chemsketch-freeware/>
9. Программное обеспечение для визуализации пространственных структур биополимеров PyMOL [Электронный ресурс]. – URL: <https://pymol.org/>
10. Программное обеспечение для визуализации пространственных структур биополимеров VMD [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ks.uiuc.edu/Research/vmd/>