



ИНСТИТУТ СОДЕРЖАНИЯ
И МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ
федеральное государственное
бюджетное научное учреждение

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
КУРСА ВНЕУРОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ОСНОВЫ БИОХИМИИ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ

**УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ
В СОДЕРЖАНИИ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ПРЕДМЕТОВ**

СРЕДНЕЕ ОБЩЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Москва
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>
Раздел 1. Организационное занятие «Биохимия и молекулярная биология на стыке наук»				
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		
Раздел 2. Основы биоорганической химии				
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		
Раздел 3. Строение биологических макромолекул				
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		
Раздел 4. Функции биологических макромолекул				
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		
Раздел 5. Биоэнергетика				
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		
Всего количество часов по программе за год		68		

11 КЛАСС

№ п/п	Наименование разделов и тем <i>учебного предмета</i> курса	Количество часов	Программное содержание	Характеристика деятельности обучающихся
Раздел 6. Регуляция клеточных биологических процессов				
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		
Раздел 7. Основы вирусологии				
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		
Раздел 8. Строение прокариотической клетки				
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		
Раздел 9. Строение эукариотической клетки				
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		
Раздел 10. Внеклеточные молекулярные системы				
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. Имуноглобулины. 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		
Раздел 11. Основы биоинформатики				
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		
Раздел 12. Актуальные проблемы в области биохимии и молекулярной биологии				
12.1	ДУрок дискуссия	4	Актуальные проблемы в области биохимии и молекулярной биологии	Итоговая аттестация. Зачетная работа
Итого по разделу		4		
Всего количество часов по программе за год		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-05-~~ 2012 г. № 413; зарегистрирован Минюстом России ~~07 июня-06-~~ 2012 г. № 24480).
3. Федеральная образовательная программа среднего общего образования (утверждена приказом Минпросвещения России от 18 ~~мая-05-~~ 2023 г. № 371; зарегистрирован Минюстом России 12 ~~июля-07-~~ 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/>