

Муниципальное казенное общеобразовательное учреждение
Ханты-Мансийского района
«Средняя общеобразовательная школа с. Селиярово»

УТВЕРЖДЕНО
Директор МКОУ ХМР
«СОШ с. Селиярово»
приказ №254-0
«30» августа 2024 г.

**Рабочая программа базового кружка
«Геномное редактирование»
(1-й год обучения)**

Возраст учащихся: 14-16 лет (8-10 класс)

Срок реализации: 1 год

Объем 144 академических часа

с. Селиярово, 2024 год

Пояснительная записка

1. Цель и задачи программы

Цель: Подготовка обучающихся к участию в Национальной технологической олимпиаде по профилю «Геномное редактирование», освоение необходимых предметных знаний и вовлечение школьников в работу над технологическими приоритетами Национальной технологической инициативы для личностной самореализации и профессионального самоопределения.

Задачи:

- сформировать познавательные интересы и мотивы, направленные на изучение естественных наук и приоритетных направлений Национальной технологической инициативы;
- сформировать объем теоретических знаний по биологии, химии и информатике, необходимых для участия в НТО;
- выработать понимание фундаментальных законов биологии, химии, информатики;
- научить решать задачи, относящиеся к синтетической биологии, технологиям управления свойствами биологических объектов;
- организовать практическую и исследовательскую деятельность обучающихся по направлениям, обозначенным в программе;
- познакомить с инструментами биоинформационного анализа;
- научить пользоваться наборами реактивов разными способами, в разных сочетаниях;
- способствовать развитию навыков практического применения метода геномного редактирования;
- развить умение работать с литературой и поиском информации в интернете на специализированных сайтах;
- научить анализировать полученные в ходе экспериментов результаты.

Отличительная особенность программы:

Особенностью программы является интеграция химико-биологических знаний и умений с основами биоинформационного анализа и программирования, что позволит повысить подготовленность обучающихся к участию в НТО.

Адресат программы:

Программа рассчитана на обучающихся 14-16 лет (8-10 классы), мотивированных на получение повышенных образовательных результатов, участие в конкурсных мероприятиях и планирующих поступление по программам высшего образования естественно-научной и медицинской направленности.

Наполняемость группы - 10 человек.

Объем программы: 144 академических часа на протяжении одного учебного года.

Форма и режим занятий:

Занятия проводятся:

- в очном формате, по программе базового кружка – 4 академических часа в неделю.

Формы организации образовательного процесса предполагают проведение коллективных занятий (15-20 человек), малыми группами (4-6 человек) и индивидуально.

Уровень освоения программы: базовый уровень.

2. Планируемые результаты

Предметные результаты:

Будут знать:

- теоретические аспекты и фундаментальные законы биологии, химии и информатики;
- инструментарий биоинформационного анализа;
- основные молекулярно-генетические процессы: репликация и репарация ДНК, трансляция и транскрипция;
- методы исследования нуклеиновых кислот и их выделения;
- метод полимеразной цепной реакции: его механизмы и этапы;
- основы электрофоретической детекции нуклеиновых кислот и белков

Будут уметь:

- работать на современном молекулярно-биологическом оборудовании;
- осуществлять анализ, обработку полученных результатов при помощи прикладных программ и их интерпретации;
- организовывать теоретическую, практическую и исследовательскую деятельность;
- решать задачи, относящиеся к синтетической биологии, технологиям управления свойствами биологических объектов;
- применять методы исследования нуклеиновых кислот и их выделения.
- применять в исследовательских целях метод полимеразной цепной реакции;
- применять методы электрофоретической детекции нуклеиновых кислот и белков;
- планировать и проводить биологические эксперименты, работать с биологическими объектами и их компонентами;
- оценивать безопасность и возможные риски проводимых экспериментов;
- выбирать и обеспечивать безопасные условия проведения биологического эксперимента;
- программировать в среде VS Code на языке «Python»;
- решать командные междисциплинарные задания, связанные с геномным редактированием;
- решать типовые задачи разных этапов НТО по биологии, химии;

Будут владеть:

- расширенными теоретическими представлениями в области биологии, химии, биоинформатики;
- навыками использования наборов реактивов разными способами, в разных сочетаниях;
- навыками практического применения метода ПЦР;
- навыками практического применения метода электрофореза;
- навыками практического применения метода геномного редактирования;
- навыками работы с литературой и поиском информации в интернете на специализированных сайтах;
- опытом решения заданий НТО по биологии и химии;
- опытом исследования биологических систем различного уровня;
- опытом проведения экспериментов с биологическими системами;
- опытом обобщения, систематизация знаний и выявление общих или частных закономерностей функционирования биологических систем;
- методами химического анализа;

Метапредметные результаты освоения программы обучающимися:**Будут развиты:**

- способы мышления;
- умение работать в условиях неопределенности, высказывать гипотезы;
- способность производить расчеты, оценки;
- познавательная активность;
- мотивация к изучению предметов естественно-научной направленности;
- логическое и образное мышление;
- креативность, как основа нестандартного подхода к выполнению олимпиадных заданий;
- компоненты мыслительной деятельности: воображение, творческая активность и фантазия в ходе экспериментальной работы.

Личностные результаты освоения программы обучающимися:**Будут проявлять:**

- инициативность, самостоятельность, ответственность;
- внимательность, аккуратность, логическую последовательность в решении задач;
- осознанность, усидчивость, трудолюбие в самостоятельной работе;
- избирательность в выборе информации и способах решения задач;
- умение сохранять уверенность в своих способностях, несмотря на временные неудачи и трудности;
- умение взаимодействовать с разными людьми, налаживать взаимопонимание при работе в команде.

2. Организационно-педагогические условия реализации программы

2.1. Учебный план

№ п/п	Название раздела	Количество часов			Формы контроля
		Теория	Практика	Всего	
1.	Программа базового кружка «Геномное редактирование» Модули 1 года обучения				
1.1	Урок НТО. Знакомство с Национальной технологической олимпиадой	2	-	2	Регистрация на сайте НТО https://ntcontest.ru/
1.2	Модуль «Химия»	8	16	24	Решение олимпиадных заданий первого тура НТО
1.3	Модуль «Царство растений»	6	14	20	Решение олимпиадных заданий первого тура НТО
1.4	Модуль «Царство животных»	6	14	20	Решение олимпиадных заданий первого тура НТО
1.5	Модуль «Общая биология и микробиология»	-	8	8	Решение олимпиадных заданий первого тура НТО
1.6	Модуль «Генетика»	14	14	28	Решение олимпиадных заданий первого тура НТО
1.7	Модуль «Методы исследования нуклеиновых кислот»	12	12	24	Решение олимпиадных заданий второго тура НТО
1.8	Модуль «Инструменты биоинформационного анализа – программный пакет UGENE, базы данных NCBI и другие»	2	6	8	Решение олимпиадных заданий второго тура НТО
1.9	Модуль «Программирование на Python»	4	6	10	Решение олимпиадных заданий второго тура НТО
	Итого:	54	90	144	

2.2. Календарный учебный график

№ п/ п	Период реализации 2024-2025 уч. г.	Модуль
1	02.09.24 – 14.09.24 03.02.25 – 01.03.25	Модуль «Химия»
2	16.09.24 – 28.10.24 03.03.25 – 22.03.25	Модуль «Царство растений»
3	30.09.24 – 12.10.24 24.03.25 – 12.04.25	Модуль «Царство животных»
4	14.10.24 – 09.11.24	Модуль «Генетика»

	28.04.25 – 16.05.25	
5	11.11.24 – 21.12.24	Модуль «Методы исследования нуклеиновых кислот»
6	23.12.24 – 18.01.25	Модуль «Инструменты биоинформационного анализа – программный пакет UGENE, базы данных NCBI и другие»
7	20.01.25 – 01.02.25	Модуль «Программирование на Python»
8	14.04.25 – 26.04.25	Модуль «Общая биология и микробиология»

3. Содержание обучения

Урок НТО. Знакомство с Национальной технологической олимпиадой

Национальная технологическая олимпиада (НТО) — это всероссийские технологические соревнования для школьников по широкому спектру направлений от искусственного интеллекта до геномного редактирования, космических технологий, разработки компьютерных игры. Олимпиада объединяет тех, кто хочет быть востребованным и решать действительно важные задачи с помощью современных технологий. Урок призван мотивировать школьников к участию в НТО через знакомство с принципами и ценностями, профилями, историей, спецификой олимпиады и возможностями для ее участников.

Рекомендуем воспользоваться ресурсом <https://nti-lesson.ru/materials-intro>.

Модуль «Химия»

Раздел 1. Основные понятия и законы химии. Содержание: понятия количество вещества, молярный объем, молярная масса, массовая доля элемента, эквивалент. Закон эквивалентов, газовые законы. Вывод формулы вещества (вывод молекулярной формулы вещества, нахождение молекулярной формулы по известным массовым долям; нахождение молекулярной формулы по известным массам продуктов и реагентов (по продуктам сгорания)).

Раздел 2. Уравнения реакций в неорганической химии. Содержание: простые и сложные вещества, классы неорганических соединений (классификация, номенклатура, химические свойства). Расчеты по химическим уравнениям (простейшие задачи по уравнениям реакций; с использованием понятия «массовая доля растворённого вещества»; с использованием понятия «массовая доля примесей», с использованием понятий «массовая и объёмная доля выхода продукта реакции», с использованием закона объёмных отношений газов, на «избыток-недостаток»). Тепловой эффект химической реакции.

Раздел 3. Растворы. Свойства растворов. Содержание: растворы и смеси. Растворимость. Способы выражения концентраций растворов. Приготовление растворов. Коллигативные свойства растворов. Электролитическая диссоциация; слабые и сильные электролиты; pH растворов. Реакции ионного обмена в растворах. Понятие дисперсных систем; коллоидные растворы; строение частиц дисперсной фазы -мицелл.

Модуль «Царство растений»

Раздел 1. Анатомия растений. Содержание: растительные ткани: образовательные, покровные, основные, проводящие, механические, выделительные. Изготовление препаратов меристемы побегов растений. Изготовление препаратов эпидермы, перидермы и коры древесных растений. Изготовление препаратов из проводящих, механических и выделительных тканей растений.

Раздел 2. Морфология растений. Содержание: органы растений: корень, типы и формы корневых систем. Зоны корня. Первичное и вторичное строение корня. Метаморфозы корней. Строение побега. Микроскопическое строение стебля однодольных и двудольных растений. Строение стебля древесных растений. Метаморфозы побегов. Морфология и видоизменения листа. Строение цветка, формула цветка. Типы соцветий. Морфология плода, классификация плодов. Строение семени однодольных и двудольных растений.

Раздел 3. Основы физиологии растений. Фотосинтез, пигменты фотосинтеза. Фотосистемы I и II. C₃, C₄ и САМ растения.

Раздел 4. Жизненные циклы высших растений. Жизненные циклы споровых растений (хвощи, плауны, папоротники). Жизненный цикл голосеменных и цветковых растений. Эволюционное происхождение цветка и плода.

Раздел 5. Систематика высших растений.

Классы однодольные и двудольные. Основные семейства цветковых растений: бобовые, розоцветные, пасленовые, крестоцветные, сложноцветные, злаки, лилейные.

Модуль «Царство животных»

Раздел 1. Ткани животных и человека. Типы клеточной организации: прокариотические и эукариотические клетки. Жизненный цикл клеток. Гаметогенез; мейоз и его биологическое значение. Оплодотворение. Методы изучения клетки: световая и электронная микроскопия; биохимические и иммунологические методы. Обмен веществ в клетке (метаболизм). Строение тканей животных и человека.

Раздел 2. Простейшие. Особенности морфологии и физиологии. Систематика простейших.

Раздел 3. Беспозвоночные животные. Таксоны беспозвоночных животных. Основные ароморфозы типов (подтипов, классов). Эволюция систем органов беспозвоночных животных.

Раздел 4. Таксоны позвоночных животных., Эволюция систем органов позвоночных животных.

Модуль «Общая биология и микробиология»

Вирусы. Бактериофаги. Микроорганизмы прокариотические и эукариотические. Характеристика и таксономия бактерий. Бактерии, применяемые в биотехнологии (*Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Streptomyces coelicolor*, *Corynebacterium glutamicum*). Грибы, строение и размножение грибов. Виды грибов, применяемые в биотехнологии (*Penicillium notatum*,

Aspergillus nidulans, *Rhizopus oryzae* и *R. nigricans*). Дрожжи, применяемые в биотехнологии: *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*, *Candida albicans*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Hansenula polymorpha* и *Pichia pastoris*.

Модуль «Генетика»

Раздел 1. Основы генетики. Основные понятия генетики. Закономерности наследования. Законы Менделя. Закон независимого расщепления и его цитологический механизм. Правила выписывания гамет полигибрида. Определение расщепления по фенотипу с помощью фенотипических радикалов. Роль анализирующего скрещивания и возможности его осуществления. Понятие об экспрессивности и пенетрантности гена. Методы оценки пенетрантности генов.

Взаимодействие генов. Классификация различных типов взаимодействия генов: полное доминирование, неполное доминирование, сверхдоминирование, кодоминирование, межallelная комплементация, аллельное исключение, комплементарность, эпистаз, полимерия.

Сцепленное наследование. Установление сцепления в наследовании признаков. Генетика пола и сцепленное с полом наследование. Классификация изменчивости. Понятие о наследственной и ненаследственной изменчивости. Мутационная теория и классификация мутаций.

Введение в генетику человека. Человек как объект генетических исследований. Методы генетики человека и их характеристика.

Введение в популяционную генетику. Генетическая структура популяций. Типы популяций. Основные факторы генетической динамики популяций.

Раздел 2. Основные молекулярно-генетические процессы. Строение нуклеиновых кислот (ДНК, РНК). Виды и функции нуклеиновых кислот. Правило комплементарности. Правило Чаргаффа. Принципиальные отличия ДНК и РНК. Передача генетической информации (центральная догма молекулярной биологии). Понятие матричного синтеза. Антипараллельность ДНК и ее значение в реакциях матричного синтеза. Принцип матричного синтеза.

Реакции матричного синтеза. Принцип комплементарности в реакциях матричного синтеза. ДНК и гены. Генетический код, его свойства. Транскрипция, ее принципы и особенности. Трансляция: этапы и механизмы. Матричный синтез ДНК – репликация. Принципы репликации ДНК. Механизм репликации ДНК.

Модуль «Методы исследования нуклеиновых кислот»

Организация молекулярной лаборатории. ПЦР. Электрофорез. Подготовка материала для выделения нуклеиновых кислот. Выделение ДНК. Протоколы выделения ДНК. Постановка ПЦР. Выбор и подготовка праймеров. Детекция результатов ПЦР методом горизонтального гель-

электрофореза. Очистка ПЦР-продукта. Постановка секвенсовой реакции. Интерпретация результатов.

Модуль «Инструменты биоинформационного анализа – программный пакет UGENE, базы данных NCBI и другие»

Выравнивание биологических последовательностей. Компьютерные базы данных (их виды). Матрицы сходства.

Поиск гомологов. Поиск по участкам последовательностей. Выравнивание.

Молекулярная эволюция. Филогения. Метод эволюционных деревьев. Анализ экспрессии генов. Изучение структуры и функций белков.

Модуль «Программирование на Python»

Знакомство с интегрированной средой разработки и обучения на языке Python, написание первой программы. Функция print, переменные. Input и условные конструкции. Списки, модуль random, цикл while. Программа - игра «Камень, ножницы, бумага». Стандарт оформления кода.

4. Формы контроля и подведения итогов реализации программы

В образовательном процессе будут использованы следующие виды и методы контроля успешности освоения обучающимися программы:

- предварительный (входной) контроль проводится в начале реализации Программы в виде беседы и/или тестирования;
- текущий контроль - участие в соревнованиях программы, в том числе в 1 и 2 туре НТО.
- итоговый контроль участие в итоговом соревновании.

Система контроля результативности программы

Обратная связь осуществляется в общих чатах в социальных сетях, самостоятельная работа и взаимодействие с преподавателем осуществляется в режиме проверки интерактивных форм с заданиями и в электронной образовательной среде.

Примерное содержательное описание каждого критерия

Уровни освоения программы	Результат
Высокий уровень освоения программы	Учащиеся демонстрируют высокую заинтересованность в учебной, познавательной и творческой деятельности, составляющей содержание Программы. На соревнованиях показывают отличное практическое применение знаний и навыков во время соревнований.

Средний уровень освоения Программы	Учащиеся демонстрируют достаточную заинтересованность в учебной, познавательной и творческой деятельности, составляющей содержание Программы. На соревнованиях показывают практическое применение знаний и навыков во время соревнований, но некоторые навыки требуют доработки, а некоторые задания вызывают трудности.
Низкий уровень освоения Программы	Учащиеся демонстрируют низкий уровень заинтересованности в учебной, познавательной и творческой деятельности, составляющей содержание Программы. На соревнованиях показывают практическое применение знаний и навыков во время соревнований не соответствует требованиям и задания на соревнованиях вызывают непреодолимые трудности.

5. Организационно-педагогические условия реализации программы

5.1. Материально-техническое обеспечение:

- платформа для проведения вебинаров с возможностью их записи и размещения;
- чат для коммуникации преподавателей и участников программы в социальной сети;
- платформа для размещения электронных форм тестирования;
- лекционная аудитория с проектором, интерактивной доской, возможностью выхода в интернет;
- оборудование учебных лабораторий.

5.2. Оборудование

№ п/п	Наименование	Кол-во
1	Микроскоп прямой для лабораторных исследований биологический	5
2	Стекла покровные	5
3	Стекла предметные	5
4	Чашки Петри	40
5	Набор готовых микропрепаратов	1
6	Пинцет	5
7	Набор реагентов, расходных материалов и методических рекомендаций для изготовления микропрепаратов "Клетки человека"	1
8	Набор реагентов, расходных материалов и методических рекомендаций для изготовления микропрепаратов "Микроскопические организмы"	1

5.3. Кадровое обеспечение программы:

- профессор, доктор биологических наук
- доцент, кандидат биологических наук;
- доцент, кандидат химических наук;
- специалист, медицинский генетик;
- педагог дополнительного образования, программист;
- педагог;
- психолог;

- воспитатель.
- программист.

5.4. Информационное обеспечение:

- Сайт Регионального модельного центра дополнительного образования детей - <http://argo.surgu.ru/>

- Образовательная платформа «Таланты 2030» Сургутского государственного университета – <https://talents.surgu.ru/>

5.5. Методическое обеспечение программы

Методы обучения, используемые в программе:

- словесные (устное объяснение материала),
- наглядные (презентация),
- практические (проектная деятельность, Приложение 3),
- расчётные (математическая обработка экспериментальных данных),
- визуальные (представление результатов эксперимента в виде таблиц, графиков, схем, диаграмм),
- аналитические.

С целью вовлечения в продуктивную и творческую деятельность обучающихся будут использованы:

- анализ информационных источников (интернет);
- основные методы сбора и обработки данных;
- метод погружения;
- исследования;
- опытная работа.

5.6. Программное обеспечение программы

Название	Ссылка	Требуется регистрация на сайте и подтверждение регистрации через электронную почту
Онлайн пакет офисных продуктов	https://docs.google.com	Требуется регистрация
Онлайн сервис для проведения видеоконференций	https://telemost.yandex.ru/	Требуется регистрация
Ugene	ugene.net	Свободный доступ
Базы данных (NCBI)	www.ncbi.nlm.nih.gov	Свободный доступ
Электронно-образовательные ресурсы		

<p>1. Образовательная платформа «Таланты 2030»</p> <p>2. Электронная библиотека</p> <p>3. Сайт предназначен для всех, кто интересуется эволюцией.</p> <p>4. Самая полная и постоянно пополняемая электронная биологическая библиотека с прямыми ссылками.</p> <p>5. Курс «Молекулярная биология и генетика»</p> <p>6. Курс «Биотехнологии: генная инженерия»</p> <p>7. Курс «ГМО: технологии создания и применение»</p> <p>8. Подкаст UGENE (серия обучающих англоязычных видеоматериалов)</p>	<p>1. https://talents.surgu.ru/</p> <p>2. http://zoometod.ru</p> <p>3. http://www.evolbiol.ru/</p> <p>4. ashipunov.info/shipunov/school/school.htm</p> <p>5. https://stepik.org/course/70/promo#toc</p> <p>6. https://stepik.org/course/94/promo#toc</p> <p>7. https://ru.coursera.org/learn/gmo</p> <p>8. http://ugene.net/ru/podcast_archive.html</p>	<p>Свободный доступ</p>
--	--	-------------------------

5.7. Информационные источники

Перечень литературы, использованной при написании программы: ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Алферова, Г. А. Генетика: учебник для вузов/ Г. А. Алферова, Г. П. Подгорнова, Т. И. Кондаурова; под редакцией Г. А. Алферовой. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 200 с. – (Высшее образование). – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/490670> (дата обращения: 08.04.2022). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
2. Молекулярная биология. Практикум.: учебное пособие для вузов/А.С.Кони́чев[и др.]; под редакцией А.С.Кони́чева. -2-е изд.- Москва.:Издательство Юрайт, 2021.-169с.
3. Кони́чев, А.С. Молекулярная биология: учебник для студ. пед. вузов / А.С. Кони́чев, Г.А. Севастьянова. - 2-е изд., испр.-М.: Издательский центр «Академия», 2005.- 400с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Генетика. Словарь основных терминов и понятий: словарь / составители С. Н. Кузнецова [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Тверь: Тверская ГСХА, 2020. – 102 с. – Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная

система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/146942> (дата обращения: 08.04.2022). – Режим доступа: для авторизированных пользователей.

2. Молекулярная генетика, микробиология и вирусология: научно-теоретический журнал / учредитель: Институт молекулярной генетики РАН. М.: Медицина, 1994-1995, 2001- . Т. 38, № 1-4. 2020.

3. Синюшин, А. А. Решение задач по генетике / А. А. Синюшин. — Москва: Лаборатория знаний, 2019. — 154 с. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/89223.html> (дата обращения: 03.08.2022). — Режим доступа: для авторизированных пользователей.

ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. Генетика: каталог ресурсов. - Текст: электронный // Лекториум: бесплатный онлайн-курс “Генетика”. - 2009-2022. - URL: <https://www.lektorium.tv/genetics> (дата обращения: 03.08.2022).

2. Голосова, О. Полимеразная цепная реакция: видеолекция / Ольга Голосова. - Текст: электронный. - URL: <https://youtu.be/kc6DakXUtUU> (дата обращения: 03.08.2022).

3. Голосова, О. Секвенограммы / Ольга Голосова. - Текст: электронный. - URL: <https://youtu.be/1MLPqFIVPFM> (дата обращения: 03.08.2022).

4. Дымшиц, Г.М. Основные начала молекулярной биологии: 25 иллюстрированных лекций: учебное пособие / Г.М. Дымшиц, О.В. Саблина.- Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2018.-180с.- Текст: электронный//Цифровой образовательный ресурс IPR SMART:[сайт].- URL: <https://www.iprbookshop.ru/93471.html> (дата обращения: 03.08.2022).- Режим доступа: для авторизованных пользователей.

5. Кузнецов, В. В. Молекулярно-генетические и биохимические методы в современной биологии растений / Кузнецов В. В., Ралдугина Г. Н., Кузнецов В. В. - Текст: электронный // Портал РФФИ [сайт]. - URL: http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_1781847 (дата обращения: 03.08.2022).

6. Немудрый А. А., Валетдинова К. Р., Медведев С. П., Закиян С. М. Системы редактирования геномов TALEN и CRISPR/Cas – инструменты открытий. - Текст [Электронный ресурс]: Журнал Acta Naturae: официальный сайт. - Режим доступа: URL: <https://actanaturae.ru/2075-8251/index> (дата обращения: 03.08.2022).

7. Оберемок, В. В. К применению ПЦР-метода: метод. рек. / В. В. Оберемок. - Текст: электронный // Cyberpedia: информ. ресурс. - 2017-2022. - URL: <https://cyberpedia.su/2x6e17.html> (дата обращения: 03.08.2022).

8. Осипова, Л.А. Генетика в 2 ч. Часть 1: учебное пособие для вузов/ Л.А.Осипова.– 2-е изд., испр. и доп.– Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 243с. – (Высшее образование). – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/490838> (дата

обращения: 08.04.2022). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

9. Осипова, Л.А. Генетика. В 2 ч. Часть 2: учебное пособие для вузов/ Л.А.Осипова.– 2-е изд., испр. и доп.– Москва: Издательство Юрайт, 2022. – 251с. – (Высшее образование). – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/491746> (дата обращения: 08.04.2022). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

10. Северинов, К. Редактирование генома с CRISPR/Cas9 / Константин Северинов. - Текст: электронный // Пост Наука : [сайт]. - 2012-2022. - URL: <https://postnauka.ru/faq/59807>

11. Тикунов, А. Полимеразная цепная реакция: видеолекция / Артем Тикунов. - Текст: электронный. -URL: <https://youtu.be/V2qm9jTNRKI> (дата обращения: 03.08.2022)

12. Шаг 7. 2.4 Вариации ПЦР: [видеоурок]. - Текст: электронный // Stepik [сайт]. - 2013-2022. - URL: <https://stepik.org/lesson/13696/step/7> (дата обращения: 03.08.2022)

13. 12 методов в картинках: секвенирование нуклеиновых кислот / А. Недолужко, О. Пташник, А. Чугунов, А. Панов. - Текст: электронный // Биомолекула [сайт]. - 2007-2022. - URL: <https://biomolecula.ru/articles/metody-v-kartinkakh-sekvenirovanie-nukleinovykh-kislot> (дата обращения: 03.08.2022)

14. 12 методов в картинках: геновая инженерия. Часть I, историческая / О. Волкова, О. Пташник, А. Чугунов, А. Панов. - Текст: электронный // Биомолекула [сайт]. - 2007-2022. - URL: <https://biomolecula.ru/articles/12-metodov-v-kartinkakh-gennaia-inzheneriia-chast-i-istoricheskaja?ysclid=16d9rebws9167381293> (дата обращения: 03.08.2022)

15. 12 методов в картинках: полимеразная цепная реакция / А. Панов, О. Пташник, А. Чугунов, О. Волкова. - Текст: электронный // Биомолекула [сайт]. - 2007-2022. -URL: <https://biomolecula.ru/articles/metody-v-kartinkakh-polimeraznaia-tsepnaia-reaktsiia> (дата обращения: 03.08.2022).

16. Unipro UGENE podcast #52: The Sanger Reads Editor in UGENE 1.27: Video blog. - Text: English. - URL: <https://www.youtube.com/watch?v=IDovNM1oZEw> (date of application: 03.08.2022).