



«СОГЛАСОВАНО»  
на заседании педагогического совета  
Протокол №1 от 25 августа 2025г.

«УТВЕРЖДЕНО» Приказом Директора  
ОАНО «Школа «ЛЕТОВО»  
№ 138-ОД от 26 августа 2025

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ОБЩЕРАЗВИВАЮЩАЯ ПРОГРАММА

Направленность программы: *естественнонаучная*

Название программы развития в Дипломе Летово:

Наука и познание

**Молекулярная биология (углубленный)**

Возраст обучающихся: 9-11 класс

Срок реализации программы: 1 год

Составитель:  
Третьяков Данила Олегович  
Учитель биологии

Подразделение:  
Кафедра естественных наук (Science)

**Москва, 2025**

# 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

## Актуальность программы

Молекулярная биология — фундамент современного естествознания и биотехнологий: от секвенирования и редактирования геномов до разработки лекарств, диагностических тестов и ферментных платформ для пищевой и медицинской индустрий. Освоение потоков генетической информации (репликация — репарация — транскрипция — регуляция — трансляция) и базовых лабораторных техник формирует у учащихся «скелет» научного мышления и прикладные навыки работы с биомолекулами. Программа отвечает задачам обновления содержания и качества дополнительного образования: интегрирует актуальные научные представления и **практико-ориентированные модули**, выстроенные по логике «метод → эксперимент → данные → интерпретация». Это соответствует общим подходам ДООП: очный формат, групповая работа, исследовательская деятельность компонента и прозрачные формы оценивания.

Курс закрывает несколько дефицитов школьного уровня:

- связывает «классическую» теорию макромолекул с реальными процедурами (электрофорез ДНК, мини-преп плазмид, экспрессия в *E. coli*, аффинная очистка His-tag белков),
  - развивает навыки научной коммуникации (оформление протоколов, отчётов, визуализация гелей и хроматограмм),
  - поддерживает олимпиадную траекторию (разбор типовых задач по логике молекулярных процессов, причинно-следственные связи, работа с экспериментальными графиками/схемами).
- Тем самым программа формирует у школьников готовность к учебно-исследовательским проектам и к участию в олимпиадном движении, что соответствует целям и формам предъявления результатов в образцах ДООП.

## Общая характеристика программы

**Цель программы** — сформировать у учащихся целостное понимание молекулярных механизмов хранения, передачи и реализации генетической информации у прокариот и эукариот, а также базовые лабораторные компетенции и культуру научной коммуникации.

### Задачи программы:

- разъяснить архитектуру геномов, динамику реплисомы и сравнительные аспекты репликации у прокариот/эукариот;
- систематизировать пути репарации (MMR, BER, NER, HR, NHEJ) и их фенотипические последствия;
- разобрать транскрипцию у бактерий ( $\sigma$ -факторы, промоторы, терминация) и у эукариот (Pol I/II/III, общие факторы, ко-транскрипционные модификации РНК), а также многоуровневую регуляцию транскрипции (операторные системы, эпигенетические модификации, РНК-интерференция);
- сравнить механизмы трансляции (инициация: Shine–Dalgarno vs Kozak; элонгация/терминация; контроль качества; антибиотико-мишени);
- обучить выполнению базовых методик: подготовка буферов, гель-электрофорез ДНК,

**щелочной мини-преп плазмид, индукция экспрессии рекомбинантного белка в *E. coli*, аффинная очистка на Ni-NTA;**

— развить метанавыки: планирование эксперимента, работа в группе, критическое чтение источников, визуализация данных, рефлексия и самооценка — в логике школьных рубрик метапредметных результатов.

#### **Отличительные особенности:**

1. **Сшивка теории и практики.** Каждый теоретический блок «закрывается» кейсом (диагностика ошибок, выбор корректного пути репарации, интерпретация гелей, чтение карт плазмид).
2. **Исследовательская логика.** Мини-проекты по схеме «вопрос → план → эксперимент → QC → презентация», прозрачные чек-листы и критерии оценивания.
3. **Олимпиадный модуль.** Регулярные тренинги решения задач на причинно-следственные связи, кинетику процессов и работу регуляторных контуров.
4. **Безопасность и этика.** Школьный уровень биобезопасности, безопасные красители, корректная утилизация, академическая добросовестность (фото-фиксация, запрет фабрикации данных).
5. **Инклюзивность.** Дифференцированные задания, вариативность ролей в группе, мультимодальные форматы (схемы, тексты, практики), что соответствует культуре программ допобразования.

**Методологические основания:** принцип научности и актуальности контента; проблемно-исследовательский подход; экспериментальность (учебные исследования с контролируемыми рисками); «выращивание» ученика (эскалация сложности, поддержка ошибок как ступени роста); командная работа и публичная коммуникация (мини-лекции, семинары, постерные защиты). Эти основания согласованы с используемыми в школе форматами организации образовательного процесса.

#### **Межпредметные связи и профориентация:**

— химия (буферы, взаимодействия макромолекул, хроматография), физика (электромиграция, оптика детекции), информатика (базовая биоинформатика, обработка данных), математика (оценка достоверности, вероятностные рассуждения).

— профориентация: понимание контуров профессий биотех/медтех/биоинформатика; развитие «жёстких» (лабораторных) и «мягких» (командных) навыков, как требуется программами допобразования.

#### **Условия реализации и ресурсы:**

Очная работа в лабораторном классе; микропипетки, центрифуга, термостат/баня, шейкер-инкубатор; наборы для электрофореза и мини-препов, безопасные красители, маркеры ДНК, Ni-NTA смола/колонки, *E. coli* штамм учебного уровня, стандартные буферы; ИКТ-оснащение (ноутбук/дисплей), офисное ПО. Перечень структурирован и подаётся в стиле МТО-разделов ДООП, как в ваших примерах.

#### **Ожидаемые результаты:**

— *Предметные:* системное понимание молекулярных процессов, умение объяснять механизмы и предсказывать эффекты вмешательств; базовая операционная готовность к выполнению описанных методик.

— *Метапредметные:* планирование, командная работа, критический анализ данных, презентация результатов, само- и взаимооценивание по рубрикам.

— *Личностные*: ответственность за безопасность, академическая добросовестность, устойчивость к неопределённости, исследовательская мотивация. Формулировки и логика соответствуют целям и формам предъявления результатов ДООП.

#### **Риски и меры их снижения:**

- перегрузка теорией → «спиральная» подача и чередование с практиками;
- методические ошибки новичков → чек-листы, демонстрации, парная проверка;
- разрыв в подготовке учащихся → дифференциация заданий, тьюторские роли в командах;
- нарушения техники безопасности → обязательный инструктаж, СИЗ, регламент журналирования.

#### **Индикаторы достижения целей:**

- успешность выполнения практик (по чек-листам), корректность отчётов, прогресс в тестах;
- качество визуализаций (гели/хроматограммы), аргументация на семинарах;
- готовность к олимпиадным задачам (динамика результатов тренировок);
- защита мини-проекта (постер/презентация) — критерии ясности, точности и научной корректности.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ И ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН**

Программа выстроена по принципу поступательного углубления теории с немедленной «приземлённостью» в практики: каждый крупный теоретический блок усиливается задачами на причинно-следственные связи и мини-кейсами, а практикум закрывается отчётами с визуализацией данных (гели/хроматограммы) и короткими защитами. Формат и логика соответствуют школьным ДООП (очная форма, групповая работа, исследовательская компонента).

#### **Тематический план (56 акад. часов)**

<b>№</b>	<b>Наименование разделов и тем</b>	<b>Содержание учебного материала, лабораторные работы и практические занятия, самостоятельная работа обучающихся</b>	<b>Объём (ч)</b>
1	<b>Введение в молекулярную биологию</b>	Центральная догма; обзор нуклеиновых кислот и белков; карта курса; правила ТБ и ОТ в учебной лаборатории; формат отчётности и чек-листы	2
2	<b>Репликация у прокариот (большая тема)</b>	Организация генома бактерий; <i>oriC</i> , <i>DnaA/B/C</i> ; примаза; <i>Pol III/Pol I</i> ; $\beta$ -зажим, <i>SSB</i> ; координация лидирующей/лагирующей цепей; терминация, топоизомеразы; кейсы по ошибкам репликации	10
3	<b>Репликация у эукариот (сравнительная маленькая)</b>	Множественные <i>ori</i> ; лицензирование ( <i>ORC</i> , <i>MCM</i> , <i>Cdc6</i> , <i>Cdt1</i> ); <i>Pol <math>\alpha/\delta/\epsilon</math></i> ; теломерная проблема и теломераза; сравнительная таблица отличий с прокариотами	4
4	<b>Репарация ДНК</b>	Классификация повреждений; <i>MMR</i> , <i>BER</i> , <i>NER</i> ;	6

№	Наименование разделов и тем	Содержание учебного материала, лабораторные работы и практические занятия, самостоятельная работа обучающихся	Объём (ч)
	(прок.+эук.)	рекомбинационная репарация (HR) и NHEJ; фотолиаза; фенотипы дефектов; анализ логики выбора пути	
5	<b>Транскрипция у прокариот</b> (большая тема)	σ-факторы и промоторы; открытый комплекс; аттенуация; терминация р-зависимая/независимая; опероны; чтение регуляторных карт	8
6	<b>Транскрипция у эукариот</b> (сравнительная маленькая)	Pol I/II/III; общие факторы (TFIID/TFIIF); энхансеры/инсуляторы; кэппинг, сплайсинг, полиаденилирование; ко- и посттранскрипционные события	4
7	<b>Регуляция транскрипции</b> (средняя тема)	Репрессоры/активаторы; системы Lac/Trp; CRP-cAMP; ремоделирование хроматина, модификации гистонов, ДНК-метилирование; РНК-интерференция; архитектура сетей регуляции	6
8	<b>Трансляция у прокариот и эукариот</b>	Инициация (Shine–Dalgarno vs Kozak), элонгация, терминация; контроль качества (NMD, tmRNA и др.); антибиотики-ингибиторы; разбор карт рибосомного профайлинга (концептуально)	6
9	<b>Базовые методы молекулярной биологии: теория + практикум</b>	Буферы/СИЗ/журналирование. <b>Лаб-1: гель-электрофорез ДНК</b> (подготовка геля, загрузка, интерпретация). <b>Лаб-2: щелочной мини-преп плазмид</b> (выход/чистота, контроль на геле). <b>Лаб-3: экспрессия рекомбинантного белка в <i>E. coli</i></b> (индукция, отбор проб по времени). <b>Лаб-4: аффинная очистка (Ni-NTA, His-tag)</b> (градиент имидозола, сбор фракций). Отчёт с графиками и фотофиксацией	8
10	<b>Разбор олимпиадных задач</b>	Разбор олимпиадных задач ВСОШ, подходящий по теме к курсу, реализация авторских задач моделирующих “кабинеты” финального этапа	2
	<b>Итого</b>		<b>56</b>

**Формы деятельности и оценивания (сквозные):** лекции; семинары-разборы; лабораторные по чек-листам; блиц-коллоквиумы; постерные/слайд-защиты мини-исследований; формирующая оценка за активность и качество отчётов; итог — зачёт при посещаемости  $\geq 80\%$  и защите мини-проекта. Логика и формулировки синхронизированы со школьными ДООП.

## Содержание программы по разделам

### Раздел 1. Введение в молекулярную биологию (2 ч)

Ключевые понятия (ДНК, РНК, белки, ферменты), центральная догма и «поток информации». Карта курса и ожидаемые результаты. Инструктаж по технике безопасности, СИЗ, документированию экспериментов (журнал). Формат отчётов и критерии оценивания.

### Раздел 2. Репликация у прокариот (10 ч)

Старт репликации: **oriC**, DnaA-боксы; расплетание (DnaB/DnaC), стабилизация SSB. Синтез праймеров (примаза), сборка реплисомы; **Pol III** (ядро,  $\beta$ -зажим,  $\gamma$ -комплекс) и **Pol I** (удаление РНК-праймеров); координация форка; лигация; топоизомеразы; терминация (Tus/Ter). Диагностика «узких мест» (фрагментация, пропуски, коллапс форка) и задачи на разбор экспериментальных артефактов.

### Раздел 3. Репликация у эукариот (4 ч)

Множественные точки старта и лицензирование: ORC, Cdc6/Cdt1, комплекс **MCM**; запуск (DDK/CDK). Роли **Pol  $\alpha/\delta/\epsilon$** , примосома; нуклеосомы как барьеры; поддержание теломер и **теломераза**. Сравнительная таблица отличий с прокариотами; клиничко-генетические аспекты (дефекты репликации).

### Раздел 4. Репарация ДНК (6 ч)

Типология повреждений (дезаминирование, депурирование, пиримидиновые димеры, сшивки). **MMR, BER, NER** — субстратная специфичность и ключевые ферменты; **HR** и **NHEJ** как стратегии работы с двуцепочечными разрывами. SOS-ответ у бактерий; фенотипы нарушений (мутагенез, канцерогенез). Ситуационные задачи «выбор пути репарации» по данным гелей/схем.

### Раздел 5. Транскрипция у прокариот (8 ч)

Строение бактериальных промоторов;  $\sigma$ -факторы; образование открытого комплекса; **аттенюация**; терминация ( $\rho$ -зависимая/независимая). Оперонная логика и анализ выраженности транскрипции по картам. Кейс: как мутация в промоторе изменит экспрессию и фенотип?

### Раздел 6. Транскрипция у эукариот (4 ч)

**Pol I/II/III**; сборка преи инициационного комплекса (**TFIID/TFIIN**); энхансеры/инсуляторы и медиатор; кэппинг, сплайсинг, полиаденилирование; связь транскрипции и процессинга РНК. Сравнительный акцент («что принципиально иначе, чем у бактерий»).

### Раздел 7. Регуляция транскрипции (6 ч)

Классические бактериальные схемы (**Lac/Trp, CRP-cAMP**) и многоуровневая эукариотная регуляция: модификации гистонов, **ДНК-метилирование**, ремоделирование хроматина, **РНК-интерференция**.

### Раздел 8. Трансляция у прокариот и эукариот (6 ч)

Инициация: отличие сайтов (Shine–Dalgarno vs Kozak), факторы инициации; элонгация/терминация; контроль качества (стоп-кодоны, NMD у эукариот, tmRNA у бактерий). Антибиотики как зонды механизма; упражнения по «мишеням» и резистентности.

### Раздел 9. Базовые методы молекулярной биологии: теория + практикум (8 ч)

**Лаб-1 (2 ч).** Гель-электрофорез ДНК. Подготовка геля (агароза, буфер), загрузка проб и маркера, визуализация безопасным красителем, калибровка размера фрагментов, разбор артефактов (перегрузка, смайлинг).

**Лаб-2 (2 ч).** Щелочной мини-преп плазмид. Лизис, нейтрализация, очистка; измерение выхода/чистоты; контроль на геле; типичные проблемы (РНК-фон, соли).

**Лаб-3 (2 ч).** Экспрессия белка в *E. coli*. Выбор штамма/носителя, индукция (IPTG), отбор временных точек; SDS-PAGE — качественная проверка экспрессии (фото-материалы).

**Лаб-4 (2 ч).** Аффинная очистка His-tag белка (Ni-NTA). Подготовка лизата, связка/промывка/элюция, градиент имидозола, сбор фракций; QC по SDS-PAGE (фото), поскольку белок флуоресцентный специфическая детекция важна теоретически.

Каждая лабораторная — по чек-листу и с индивидуальным кратким отчётом (цель → ход → данные → вывод).

## **Раздел 10. Разбор олимпиадных задач (2 ч)**

Сборные задачи на потоки информации, регуляцию и методы. По материалам ВСОШ и авторским “кабинетам” моделирующим финальный этап.

# **3. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

## **3.1. Уровни и виды контроля**

### **Текущий контроль (формирующий):**

- тематические блиц-тесты (введение; конец каждого крупного блока);
- семинарские задания и устные коллоквиумы по ключевым механизмам (репликация, транскрипция, регуляция, трансляция);
- лабораторные чек-листы, качество ведения журнала;
- мини-кейсы «артефакты и ошибки» (интерпретация гелей, выбор пути репарации).

### **Промежуточный контроль:**

- защита микропроекта/кейса после блока «Транскрипция + Регуляция» (5–7 слайдов, 5 минут доклада + вопросы);
- рубрика оценивания: корректность содержания (механизм), логика аргументации, визуализация, командное взаимодействие.

### **Итоговая аттестация (зачёт):**

- обязательна посещаемость  $\geq 80\%$ ;
- защита мини-проекта по практическому модулю (электрофорез, мини-преп, экспрессия, аффинная очистка) или расширенный разбор олимпиадной задачи;
- зачёт/незачёт по сумме требований и порогу

## **3.2. Оцениваемые результаты и критерии (предметные/метапредметные/личностные)**

**Предметные:** точность терминологии; причинно-следственные связи; корректность объяснения механизмов; умение выбирать метод и интерпретировать данные.

**Метапредметные:** планирование эксперимента; анализ источников; визуализация данных; командная работа; рефлексия и самооценка.

**Личностные:** соблюдение ТБ/ОТ; академическая добросовестность; конструктивная коммуникация; устойчивость к ошибкам (обратная связь как ресурс роста).

## 4. Формы предъявления и демонстрации образовательных результатов

**Главный результат программы** — устойчивая учебно-исследовательская мотивация и готовность к участию в олимпиадном движении и проектной деятельности по молекулярной биологии (школьный/региональный уровни), подтверждённые продуктами деятельности учащихся.

## 5. Организационно-педагогические условия реализации программы

### 5.1. Особенности работы по программе

Образовательная работа выстроена на принципах **практико-ориентированного и исследовательского** обучения: теория оперативно «приземляется» в практикумах и кейсах; результаты оформляются. Приоритет — формирование предметных и метапредметных компетенций. Форматы, роли и критерии заранее прозрачны для учащихся.

### 5.2. Форма организации обучения

— **Форма:** очная.

— **Основной формат:** групповая работа (малые команды 3–4 человека) с распределением ролей: ведущий эксперимента, контролёр качества, секретарь (протокол), докладчик. Подход поддерживает навыки командной коммуникации и совместного анализа.

### 5.3. Методы и виды деятельности

**Теоретический модуль:** лекции, семинары-разборы схем/карт генетической регуляции, **mini-journal club** (краткий разбор фрагментов учебных источников).

**Практикумы (учебная лаборатория):**

— Гель-электрофорез ДНК (безопасные красители),

— Щелочной мини-преп плазмид,

— Экспрессия рекомбинантного белка в *E. coli* (учебные штаммы),

— Аффинная очистка His-tag белка (Ni-NTA),

— интерпретация данных.

**Кейс-метод:** «артефакты и ошибки» (смайлинг гелей, РНК-фон, солевой шлейф, недоэлюция белка; выбор пути репарации).



**Аналитика данных:** построение таблиц/графиков, базовая визуализация, сопоставление с ожидаемыми результатами.

## 5.4. Метапредметный подход

Программа развивает:

- **Анализ и аргументацию**, постановку вопросов и формулирование гипотез;
- **Планирование** эксперимента и управление временем/ролями;
- **Работу с информацией:** поиск, интерпретация, оценка источников;
- **Командное взаимодействие** и рефлексия (само- и взаимооценка);
- **Визуализацию знаний** (схемы, таблицы, постеры), что типично для ДООП.

# 6. Перечень учебно-методического и материально-технического обеспечения

## 6.1. Материально-техническое оснащение программы

**Лабораторное оборудование:**

- микропипетки (P10–P1000) с расходниками; штативы для наконечников;
- микрофуги и настольная центрифуга; шейкер-инкубатор; термостат/водяная баня;
- камеры и блок-питания для агарозного электрофореза; трансиллюминатор/сканер для безопасных красителей;
- набор для первичной экспрессии (*E. coli*, встряхиватели, инкубация); колонок/микроколонок Ni-NTA для аффинной очистки;
- весы лабораторные, pH-метр.

**Расходные материалы и реагенты (учебного уровня):**

- агароза; буферы TAE/TBE; безопасные красители; ДНК-маркеры;
- наборы для щелочного мини-препа; РНКаза;
- учебные штаммы *E. coli* (например, BL21(DE3)), плазмидные векторы с His-tag; IPTG; антибиотики для селекции (школьные концентрации и регламенты хранения);
- смола/колонки Ni-NTA; имидозол; комплект буферов (связывание/промыть/элюция);
- одноразовые расходники (наконечники, пробирки 1.5/2.0 мл, перчатки, салфетки).

**ИКТ-оснащение:**

- ноутбук преподавателя; проектор/интерактивный дисплей; офисное ПО; доступ к школьной ЛМС.

**СИЗ и безопасность:**

- халаты, очки, перчатки; контейнеры для отходов гелей/пластика; инструкции по ТБ/ОТ и утилизации; журнал инструктажа.

## 7. Список литературы

## 7.1. Основные (базовые) источники

1. Alberts B. и др. **Молекулярная биология клетки** (*Molecular Biology of the Cell*).
2. Lodish H. и др. **Молекулярная клеточная биология** (*Molecular Cell Biology*).
3. Watson J., Baker T. и др. **Молекулярная биология гена** (*Molecular Biology of the Gene*).
4. Campbell N., Reece J. **Биология. Универсальный курс** (*Campbell Biology*) — для выравнивания базы.
5. Nelson D., Cox M. **Биохимия Ленинджера** (*Lehninger Principles of Biochemistry*) — молекулярные механизмы и ферментология.

## 7.2. Электронные ресурсы

1. **molbiol.ru** — профессиональное сообщество молекулярных биологов и биохимиков.  
Что брать: обсуждения методик, FAQ по лабораторным приёмам, разборы «подводных камней» (электрофорез, очистка белков, экспрессия в *E. coli*).  
Как использовать: подготовка к практикумам (блок «ошибки и артефакты»), расширение рубрики «вопрос–ответ» после лабораторных.
2. **biomolecula.ru** — научно-популярные и научно-обзорные статьи по молекулярной биологии, биохимии, генетике.  
Что брать: обзоры по репликации/репарации/транскрипции/трансляции, объясняющие иллюстрации и инфографика, новости и исторические справки.  
Как использовать: “bridge-reading” между учебником и лекцией; задания на критическое чтение (mini-journal club); визуальные материалы к презентациям.
3. **olimpiada.ru** — агрегатор олимпиадных материалов.  
Что брать: анонсы, регламенты, архивы задач по биологии (школьный/региональный/заключительный этапы), рекомендации по подготовке.  
Как использовать: домашние тренировки к блоку «Разбор олимпиадных задач»;
4. **Российская электронная школа (РЭШ): видеоматериалы ВСОШ по биологии**  
URL: <https://xn--1lafu.xn--p1ai/материалы/видеоразборы-всош-по-биологии/>  
Что брать: видеоразборы заданий ВСОШ по биологии, методические комментарии, приёмы аргументации.  
Как использовать: флип-класс перед семинарами по задачам; рефлексия ошибок по рубрике (аргументация/логика/экономность решения); поддержка самостоятельной подготовки.