

МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ИНСТИТУТ СТРАТЕГИИ  
РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

федеральное государственное  
бюджетное научное учреждение

## БИОЛОГИЯ

(углубленный уровень)

Реализация требований ФГОС  
среднего общего образования

*Методическое пособие для учителя*

Москва

2023

УДК 372.857  
ББК 74.262.8  
Б63

**Авторский коллектив:**

- Л. А. Паршутина*, кандидат педагогических наук, заведующая лабораторией профильного образования ФГБНУ «Институт стратегии развития образования»
- А. В. Овчинников*, кандидат педагогических наук, старший научный сотрудник лаборатории профильного образования ФГБНУ «Институт стратегии развития образования»
- О. В. Колясников*, научный сотрудник лаборатории профильного образования ФГБНУ «Институт стратегии развития образования»
- С. М. Глаголев*, кандидат биологических наук, учитель биологии в профильных классах ГБОУ Школа № 1543 г. Москвы

**Под редакцией:**

*Л. А. Паршутиной*

**Рецензенты:**

- А. В. Теремов*, доктор педагогических наук
- И. А. Смирнов*, кандидат биологических наук

Б63

**Биология (углубленный уровень) : Реализация требований ФГОС среднего общего образования** : методическое пособие для учителя / [Л.А. Паршутина, А.В. Овчинников, О.В. Колясников, С.М. Глаголев]; под ред. Л.А. Паршутиной. – М.: ФГБНУ «Институт стратегии развития образования», 2023. – 154 с.: ил.

ISBN 978-5-6049296-4-3

В пособии с позиций обновленного ФГОС СОО и ФОП СОО в части обучения биологии (углубленный уровень) рассмотрены общие вопросы, касающиеся детализации требований стандарта к результатам освоения ФОП СОО, специфики содержания учебного предмета «Биология» на уровне углубленного изучения, содержательной характеристики различных форм организации учебного процесса, способствующих оптимизации обучения биологии в контексте требований стандарта и планируемых результатов освоения предмета.

В пособии предложены методические рекомендации по изучению отдельных трудных тем для 10 класса. Рассмотрены особенности организации и проведения лабораторных и практических работ. В структуру пособия входят Приложения, в которых представлены фрагменты сценариев уроков, список проектных и исследовательских работ и список цифровых образовательных ресурсов.

Материалы представляют интерес для широкого круга специалистов в области школьного и высшего педагогического образования по биологии: учителей, преподавателей педагогических вузов и колледжей, методистов системы повышения квалификации учителей.

Методическое пособие разработано в рамках государственного задания ФГБНУ «Институт стратегии развития образования» на 2023 г. «Обновление содержания общего образования».

УДК 372.857

ББК 74.262.8

ISBN 978-5-6049296-4-3

© ФГБНУ «Институт стратегии развития образования», 2023  
Все права защищены

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ГЛАВА 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА «БИОЛОГИЯ» (УГЛУБЛЕННЫЙ УРОВЕНЬ) В 10 КЛАССЕ</b> .....	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ ТЕМ В УЧЕБНОМ ПРЕДМЕТЕ «БИОЛОГИЯ»</b> .....	<b>14</b>
2.1. Методы и приемы, применяемые в процессе изучения учебного предмета «Биология» на углубленном уровне в контексте требований ФГОС СОО.....	14
2.2. Методика изучения отдельных тем учебного предмета «Биология» на углубленном уровне в 10 классе.....	31
Методические рекомендации по теме «Биология как наука» .....	31
Методические рекомендации по теме «Живые системы и их изучение» ....	35
Методические рекомендации по теме «Биология клетки».....	40
Методические рекомендации по теме «Химическая организация клетки»..	44
Методические рекомендации по теме «Строение и функции клетки» .....	51
Методические рекомендации по теме «Обмен веществ и превращение энергии в клетке» .....	57
Методические рекомендации по теме «Наследственная информация и ее реализация в клетке» .....	63
Методические рекомендации по теме «Жизненный цикл клетки».....	68
Методические рекомендации по теме «Селекция организмов».....	69
Методические рекомендации по теме «Биотехнология и синтетическая биология» .....	78
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	<b>81</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....	<b>84</b>

## **ГЛАВА 1. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА «БИОЛОГИЯ» (УГЛУБЛЕННЫЙ УРОВЕНЬ) В 10 КЛАССЕ**

Переход образовательных организаций к работе по обновленному федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования (ФГОС СОО) [1] обусловил необходимость определения подходов к оптимизации преподавания учебных предметов в контексте новых приоритетов в целостной системе общего образования. В числе этих приоритетов первостепенное значение приобрела, в частности, проблема представления целей среднего общего образования в формате планируемых результатов обучения, достижение которых, как указано во ФГОС СОО, должно обеспечиваться на основе требований к результатам освоения основной образовательной программы среднего общего образования. С методической точки зрения реализация этой проблемы в преподавании учебных предметов предполагает, по своей сути, получение ответов на традиционно актуальные вопросы: «Чему учить и как учить?», «Какие элементы научных знаний и на каком теоретическом уровне должны быть усвоены обучающимися?», «Какие методы, способы и приемы должны служить целям оптимизации процесса обучения согласно общим представлениям о современных приоритетах в развитии среднего образования?»

В этих условиях предметом особой важности становится четкое осознание и понимание сущности внесенных в стандарт изменений [3], касающихся вопросов формирования содержания учебных предметов базового и углубленного уровней как элементов системы профильного образования на завершающем уровне школы в 10–11 классах, о детализации требований к результатам освоения ООП СОО и планируемым результатам освоения учебных предметов, выступающим в качестве содержательной и критериальной основы для определения форм организации учебного процесса, способствующих оптимизации обучения в плане реализации целей и задач общего образования.

В приложении к учебному предмету «Биология» направление развития биологического образования на уровне среднего общего образования задано «Концепцией преподавания учебного предмета «Биология» в общеобразовательных организациях Российской Федерации, реализующих основные образовательные программы» [4].

*Учебный предмет «Биология» на углубленном уровне  
(общая характеристика)*

Обсуждение перечисленных выше вопросов и определение условий для их реализации в рамках изучения предмета «Биология» (углубленный уровень) (10 класс) является главной задачей предлагаемого методического пособия. Обращаем внимание учителей на то, что выполнение данной задачи осуществлено на основе методической интерпретации внесенных в стандарт изменений, о чем сказано в федеральной рабочей программе по учебному предмету «Биология» (углублённый уровень), входящей в ФОП СОО [2] (далее – ФРП СОО, Программа), которая является одним из документов, входящих в систему инструктивно-методического сопровождения стандарта. Данная методическая интерпретация основных идей обновленного стандарта обеспечила возможность рассмотрения их сущности в сопряжении со спецификой учебного предмета «Биология».

Так, в частности, в Программе отмечено следующее:

Учебный предмет «Биология» углубленного уровня занимает важное место в системе естественно-научного образования обучающихся 10–11 классов. В соответствии с концептуальными положениями ФГОС СОО о назначении предметов базового и углубленного уровней он имеет направленность на реализацию преемственности с последующим получением биологического образования в рамках изучения специальных естественно-научных и биологических дисциплин в вузах и организациях среднего профессионального образования. В этой связи изучение предмета «Биология» ориентировано преимущественно на расширение и углубление теоретической и практической подготовки обучающихся.

Принципы отбора содержания учебного предмета «Биология» на углубленном уровне осуществлены с позиций культуросообразного подхода, в соответствии с которым обучающиеся должны освоить знания и умения, значимые для формирования общей культуры, определяющие адекватное поведение человека в окружающей природной среде, востребованные в повседневной жизни и практической деятельности.

В Программе отмечено, что в структуре учебного плана СОО предмет «Биология» (углубленный уровень) является компонентом предметной области

«Естественно-научные предметы», обязательное изучение которых предусмотрено на базовом либо на углубленном уровне. В связи с данным обстоятельством при формировании содержания предмета учтены общие положения стандарта о различиях базовых и углубленных курсов.

Это означает, что учебный предмет «Биология» на уровне среднего общего образования ориентирован на расширение и углубление знаний обучающихся о живой природе, основах молекулярной и клеточной биологии, эмбриологии и биологии развития, генетики, селекции, биотехнологии, эволюционного учения и экологии. Изучение учебного предмета «Биология» на углубленном уровне ориентировано на подготовку обучающихся к последующему получению биологического образования в вузах и организациях среднего профессионального образования. Основу его содержания составляет система биологических знаний, полученных при изучении обучающимися соответствующих систематических разделов биологии в основной школе. Так, расширены и углублены биологические знания о растениях, животных, грибах, бактериях, организме человека, общих закономерностях жизни; дополнительно включены биологические сведения прикладного и поискового характера, которые можно использовать как ориентиры для последующего выбора профессии. Возможна также интеграция биологических знаний с соответствующими знаниями, полученными обучающимися при изучении физики, химии, географии и математики.

Учебный предмет «Биология» на углубленном уровне призван обеспечить освоение обучающимися биологических теорий и законов, идей, принципов и правил, лежащих в основе современной естественно-научной картины мира; знаний о строении, многообразии и особенностях клетки, организма, популяции, о биоценозах, экосистемах; о выдающихся научных достижениях, современных исследованиях в биологии, прикладных аспектах биологических знаний. Для развития и поддержания интереса обучающихся к биологии наряду со значительным объемом теоретического материала в содержании учебного предмета «Биология» предусмотрено знакомство с историей становления и развития той или иной области биологии, вкладом отечественных и зарубежных ученых в решение важнейших биологических и экологических проблем.

*Цели и задачи изучения учебного предмета «Биология»  
(углубленный уровень)*

Отметим, что формирование содержания компонентов предмета «Биология» углубленного уровня – целей и задач его изучения; планируемых результатов освоения основной образовательной программы; форм, методов и приемов организации учебного процесса – осуществлено в Программе на основе методической интерпретации сущности внесенных в стандарт изменений. Так, в частности, в Программе отмечено, что цели и задачи изучения предмета определены с учетом проблем, касающихся современного состояния и тенденций развития системы среднего общего образования. Главную суть этих проблем составляет:

- направленность процесса обучения на развитие и саморазвитие личности, на формирование ее интеллекта и общей культуры;
- ориентация процесса обучения и воспитания выпускника школы, владеющего не просто набором знаний, а функциональной грамотностью, т. е. способами и умениями активного получения знаний и умениями применять знания для решения практических задач в реальных жизненных ситуациях;
- необходимость обеспечения условий для реализации одной из важнейших функций учебных предметов – обучения школьников умению учиться и продолжать свое образование самостоятельно.

В результате в содержательной характеристике целей и задач изучения предмета «Биология» (углубленный уровень) выделены следующие направления:

- формирование основ биологической науки как области современного естествознания, практической деятельности человека и как одного из компонентов мировой культуры;
- формирование интеллектуально развитой личности, функционально грамотной и готовой к самообразованию, которое наряду с формированием знаний основ науки биологии и знаний о структурно-функциональной организации живых систем разного ранга становится доминирующим в содержании целей изучения биологии на углубленном уровне. Тем самым повышается ориентация обучения биологии на решение задач воспитания и социального развития обучающихся, на формирование у них общеинтеллектуальных умений, умений рационализации учебного труда

и обобщенных способов деятельности, имеющих междисциплинарный, надпредметный характер.

*Требования к образовательным результатам учебного предмета «Биология»  
(углубленный уровень)*

Одним из важнейших компонентов Программы, который заслуживает особого внимания и осознания, являются «Планируемые результаты освоения учебного предмета». Именно содержание этого компонента полностью отвечает принятым в обновленном ФГОС СОО изменениям относительно ведущего предмета стандартизации образования – «Требований к результатам освоения федеральной образовательной программы». По своей сути планируемые результаты освоения предмета «Биология» (углубленный уровень) являются методической интерпретацией целей его изучения. В своей совокупности они служат ориентиром для понимания того, какими умениями (действиями – учебными, личностными, познавательными), преломленными через специфику предмета «Биология» (углубленный уровень), должны овладеть обучающиеся в процессе освоения его содержания. Подтверждением данного положения является описание функционального назначения планируемых результатов.

*Планируемые результаты освоения предмета «Биология»:*

1) уточняют и конкретизируют общее понимание сущности установленных стандартом требований к личностным, метапредметным и предметным результатам освоения ФОП СОО, детализируют содержание этих результатов применительно к содержанию предмета «Биология»;

2) характеризуют и описывают способы действий с учебным материалом, овладение которыми позволит обучающимся успешно решать учебные и учебно-практические задачи, ориентированные на получение, преобразование знаний и применение их в новых ситуациях;

3) являются содержательной и критериальной основой для определения способов, методов и приемов, способствующих повышению оптимизации обучения биологии с учетом требований ФГОС СОО к результатам освоения ФОП СОО;

4) выступают в качестве содержательной основы в системе контроля и оценки образовательных достижений обучающихся по освоению предмета «Биология».



В структуре *личностных результатов* освоения предмета «Биология» на углубленном уровне выделяются следующие составляющие: осознание обучающимися российской гражданской идентичности – готовности к саморазвитию, самостоятельности и самоопределению; наличие мотивации к обучению биологии; целенаправленное развитие внутренних убеждений личности на основе ключевых ценностей и исторических традиций развития биологического знания; готовность и способность обучающихся руководствоваться в своей деятельности ценностно-смысловыми установками, присущими системе биологического образования; наличие правосознания экологической культуры, способности ставить цели и строить жизненные планы.

Личностные результаты освоения предмета «Биология» достигаются в единстве учебной и воспитательной деятельности в соответствии с традиционными российскими социокультурными, историческими и духовно-нравственными ценностями, принятыми в обществе правилами и нормами поведения и способствуют процессам самопознания, самовоспитания и саморазвития, развития внутренней позиции личности, патриотизма и уважения к закону и правопорядку, человеку труда и старшему поколению, взаимного уважения, бережного отношения к культурному наследию и традициям многонационального народа Российской Федерации, природе и окружающей среде.

Личностные результаты освоения учебного предмета «Биология» отражают готовность и способность обучающихся руководствоваться сформированной внутренней позицией личности, системой ценностных ориентаций, позитивных внутренних убеждений, соответствующих традиционным ценностям российского общества, расширение жизненного опыта и опыта деятельности в процессе реализации основных направлений воспитательной деятельности.

Принятые в обновленном ФГОС СОО изменения в наибольшей степени коснулись предметных результатов, которые, согласно стандарту, включают освоенные обучающимися в ходе изучения учебного предмета научные знания, умения и способы действий, специфичные для соответствующей предметной области. В Программе предметные результаты, как уже было сказано выше, методически интерпретированы и представлены в формате целей изучения

предмета. Главными ориентирами для определения их содержательной характеристики служили:

- логика построения учебного курса «Биология» (углубленный уровень);
- специфика предметного знания, выступающая в качестве основы для формирования определенной совокупности действий по освоению, преобразованию и применению знаний;
- логика организации учебного процесса по изучению предмета.

В структуре предметных результатов на углубленном уровне выделены специфические для биологии научные знания более высокого, по сравнению с базовыми курсами, теоретического уровня и специфические для предмета «Биология» учебные действия комплексного характера по освоению этих знаний.

Предметные результаты на углубленном уровне ориентированы преимущественно на подготовку обучающихся к продолжению образования в средних специальных и высших учебных организациях, в учебных планах которых биология является одной из приоритетных дисциплин. Предметные результаты в Программе представлены по годам изучения.

В настоящем пособии представим *предметные результаты* освоения Программы учебного предмета «Биология» на углубленном уровне для 10 класса. Предметные результаты должны *отражать*:

1) *сформированность* знаний о месте и роли биологии в системе естественных наук, в формировании естественно-научной картины мира, в познании законов природы и решении проблем рационального природопользования; о вкладе российских и зарубежных ученых в развитии биологии;

2) *владение* системой биологических знаний, которая включает основополагающие биологические термины и понятия (жизнь, клетка, организм, метаболизм, гомеостаз, саморегуляция, самовоспроизведение, наследственность, изменчивость, рост и развитие), биологические теории (клеточная теория Т. Шванна, М. Шлейдена, Р. Вирхова; хромосомная теория наследственности Т. Моргана), учения (Н. И. Вавилова – о центрах многообразия и происхождения культурных растений), законы (единообразия потомков первого поколения, расщепления, чистоты гамет, независимого наследования Г. Менделя; гомологических рядов в наследственной изменчивости Н. И. Вавилова), принципы (комплементарности);

3) *владение* основными методами научного познания, используемыми в биологических исследованиях живых объектов (описание, измерение, наблюдение, эксперимент);

4) *умение* выделять существенные признаки: вирусов, клеток прокариот и эукариот; одноклеточных и многоклеточных организмов, в том числе бактерий, грибов, растений, животных и человека; строения органов и систем органов растений, животных, человека; процессов жизнедеятельности, протекающих в организмах растений, животных и человека; биологических процессов: обмена веществ (метаболизм), превращения энергии, брожения, автотрофного и гетеротрофного типов питания, фотосинтеза и хемосинтеза, митоза, мейоза, гаметогенеза, эмбриогенеза, постэмбрионального развития, размножения, индивидуального развития организма (онтогенеза), взаимодействия генов, гетерозиса; искусственного отбора;

5) *умение* устанавливать взаимосвязи между органоидами клетки и их функциями, строением клеток разных тканей и их функциями; между органами и системами органов у растений животных и человека и их функциями; между системами органов и их функциями, между этапами обмена веществ; этапами клеточного цикла и жизненных циклов организмов; этапами эмбрионального развития; генотипом и фенотипом, фенотипом и факторами среды обитания;

6) *умение* выявлять отличительные признаки живых систем, в том числе растений, животных и человека;

7) *умение* использовать соответствующие аргументы, биологическую терминологию и символику для доказательства родства организмов разных систематических групп;

8) *умение* решать биологические задачи; выявлять причинно-следственные связи между исследуемыми биологическими процессами и явлениями; делать выводы и прогнозы на основании полученных результатов;

9) *умение* выполнять лабораторные и практические работы, соблюдать правила при работе с учебным и лабораторным оборудованием;

10) *умение* выдвигать гипотезы, проверять их экспериментальными средствами, формулируя цель исследования, анализировать полученные результаты и делать выводы;

11) *умение* участвовать в учебно-исследовательской работе по биологии, экологии и медицине, проводимой на базе школьных научных обществ, и публично представлять полученные результаты на ученических конференциях;

12) *умение* оценивать этические аспекты современных исследований в области биологии и медицины (клонирование, искусственное оплодотворение, направленное изменение генома и создание трансгенных организмов);

13) *умение* осуществлять осознанный выбор будущей профессиональной деятельности в области биологии, медицины, биотехнологии, ветеринарии, сельского хозяйства, пищевой промышленности; углублять познавательный интерес, направленный на осознанный выбор соответствующей профессии и продолжение биологического образования в учреждениях среднего профессионального и высшего образования.

#### *Формы, методы и приемы организации учебного процесса биологии на углубленном уровне*

Следующим по своей значимости является вопрос о сущности форм, методов и приемов организации учебного процесса, посредством которых возможно обеспечить условия для преподавания биологии на углубленном уровне с учетом требований ФГОС СОО к результатам освоения ФОП СОО.

Как уже отмечалось ранее, переход образовательных организаций к работе по обновленному стандарту обусловил необходимость определения подходов к преподаванию учебных предметов в контексте новых приоритетов в понимании целей и задач в системе среднего образования.

В связи с этим возникла необходимость изменения приоритетов и в самом учебном процессе. В настоящее время ставится задача перехода «от обучения предметно-ориентированного, основной целью которого являются передача содержания конкретной предметной области, к обучению, ориентированному на личность ученика, на формирование его мотивационной сферы, независимо от стиля мышления и общеучебных умений». Это означает, что с позиции данной задачи традиционное понимание об учебном процессе, как формировании знаний, умений и навыков обучающихся, следует заменить более адекватным о нем представлением как о процессе управления освоением различными видами учебных действий.

Методическая интерпретация этого положения может служить основой для следующих выводов:

1) овладение системой знаний, включающей научные понятия, теории и законы, объективные факты, обобщения мировоззренческого характера, сведения о методах познания изучаемых объектов происходит при активной познавательной деятельности, в условиях непрерывного повышения ее научного уровня, когда усложняется работа мышления, возрастает роль творческого воображения. Именно в этом случае и происходит развитие способностей обучающихся. «Человек, его мышление, знания, практические умения, характер, отношения формируются только в деятельности, причем в деятельности активной и разнообразной» [15];

2) организация обучения на основе деятельности обеспечивает получение прочных знаний, владение учебными действиями, которые помогают обучающимся учиться успешно, развивают их самостоятельность и способность к самоорганизации. Подтверждением тому является мнение психологов, что развивающий потенциал имеют не столько сами знания, сколько умения, действия, виды деятельности, сформированные на их основе;

3) необходимым условием эффективности обучения, ориентированного на развитие личности, является активизация процесса познания, который предполагает ознакомление обучающихся с алгоритмами важнейших учебных действий с изучаемым материалом.

## ГЛАВА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ ТЕМ В УЧЕБНОМ ПРЕДМЕТЕ «БИОЛОГИЯ»

### 2.1. Методы и приемы, применяемые в процессе изучения учебного предмета «Биология» на углубленном уровне в контексте требований ФГОС СОО

Наряду с содержанием, целями и задачами биологии немаловажным является определение методов и приемов обучения. Процесс обучения биологии в школе должен рассматриваться во взаимосвязи всех составляющих его компонентов: содержания, задач, методов обучения, учебного оборудования.

Для преподавания курса биологии на углубленном уровне учителю необходимо выполнить следующие действия:

- 1) сформулировать планируемые результаты освоения обучающимися учебного предмета, а именно предметные, метапредметные и личностные;
- 2) определить цели изучения конкретной темы;
- 3) сформулировать обучающие, воспитательные и развивающие задачи темы, достижение которых можно четко диагностировать;
- 4) определить основное содержание изучаемой темы;
- 5) выбрать технологии обучения (методы, приемы, формы организации образовательного процесса);
- 6) определить средства обучения, необходимые для изучения темы;
- 7) установить способы проверки знаний обучающихся по теме;
- 8) разработать содержание внеурочной и внеклассной деятельности обучающихся по учебному процессу.

Для более подробного обсуждения вопроса о возможных направлениях активизации учебного процесса при изучении биологии обратимся к содержательной характеристике некоторых методов и приемов, которые в методике преподавания биологии *на углубленном уровне* считаются особо значимыми.

*Методы* – это способы работы учителя и ученика, с помощью которых обучающиеся усваивают определенные знания, у них формируются умения и навыки, развиваются их познавательные возможности [2]. Метод обучения является способом передачи знаний учителем и одновременно способом усвоения их обучающимися, т. е. включает в себя деятельность учителя и

ученика. В метод обучения включается преподавательская деятельность учителя и учебная деятельность обучающихся на строго ограниченном отрезке времени. Эти две стороны тесно связаны и составляют единство процесса обучения.

Метод обучения можно определить:

- 1) как виды совместной деятельности учителя и ученика, направленные на достижение какой-либо учебной цели;
- 2) как форму передачи содержания учебного материала;
- 3) как совокупность средств и приемов, с помощью которых учитель вооружает обучающихся знаниями и формирует умения.

Методы обучения многообразны, в настоящее время их описано более двухсот. Каждый из них выполняет определенные функции, обеспечивая решение тех или иных учебно-воспитательных задач. Для учителя важно иметь ориентироваться в их выборе, оценивать эффективность работы методов при обучении, воспитании и развитии.

Методы делают более гибкими *приемы обучения* биологии. Подразделение на методы и методические приемы относительно. Одни методисты рассматривают приемы как отдельные действия учителя и обучающихся. Другие считают прием отдельным методом, если он организует определенный вид учебной деятельности. Поэтому один и тот же вид деятельности в одних случаях рассматривается как метод, в других – как прием обучения. Приведем пример: если учитель ведет беседу о строении семян растений и показывает их коллекцию, то ее демонстрация рассматривается как прием. Приемы обучения организуют многообразную деятельность обучающихся, устраняя недостатки отдельного метода, повышая его обучение, воспитывающие и развивающие функции. Приемы обучения биологии могут быть *общими*, т. е. применяемыми в обучении другим предметам (работа с учебником, составление схемы и др.), и *специальными*, например приемами, используемыми только при обучении биологии [11]. Выделяют логические приемы (приемы создания проблемной ситуации, мыслительной деятельности), организационные приемы (выполнение лабораторных, практических работ по изучению живых систем разных уровней организации), технические приемы (объединяющие способы организации деятельности обучающихся с помощью аудиовизуальных и компьютерных средств обучения).

Среди многочисленного количества методов, используемых при обучении биологии, на углубленном уровне важная роль отведена методам *изложения*

*учителем нового материала.* Эта группа методов включает в первую очередь методы изложения учебного материала, ключевую роль в которых играет слово учителя. При этом в сочетании со словом учителя на уроках биологии обязательно используются средства наглядности, демонстрируется опыт, организуется самостоятельная работа обучающихся. Таким образом, при использовании этих методов объяснения нового материала реализуются все дидактические принципы обучения. Решающее значение здесь имеет слово учителя. В некоторых случаях словесное изложение учебного материала является главным способом передачи знаний обучающимся. Например, при сообщении об открытии клетки, эволюционной теории, особенностях обмена веществ в организме и т. д.

Считать, что при использовании этих методов обучающиеся пассивны, а учитель активен принципиально неверно. Все зависит от учителя и тех приемов, которые он использует в этом случае. Активность обучающихся может быть как высокой, так и низкой, может сочетаться со средствами наглядности и с демонстрацией опытов. Роль слова в обучении очень велика, но при этом важно не допустить формализма в обучении и реализовать в полной мере принцип активности обучающихся.

Сообщение нового материала может проходить в виде монологического изложения или в диалоговой форме. К ним относят следующие методы: рассказ-монолог; беседа-диалог; лекция – длительный монолог.

**Рассказ** занимает особое место при изучении биологии в средней школе на углубленном уровне. Рассказ – это монологический метод изложения учебного материала, который предполагает активное внимание обучающихся, но без их непосредственного участия. Основная функция рассказа – обучающая, и заключается она в повышении информативности урока, обучении школьников отвечать по плану, формировании у них воображения, мышления, внимания, положительных эмоций с помощью образной речи преподавателя, организации наблюдений за объектами живой природы. Это довольно распространенный и широко используемый преподавателями метод обучения. Если рассказ построен правильно, он активизирует деятельность обучающихся.

В целях поддержания внимания при рассказе необходимо чередовать его с другими методами, использовать разные средства наглядности, эксперимент. Важно возбудить интерес обучающихся к содержанию рассказа и стимулировать



его новизной излагаемого материала. Рассказ как метод обучения эффективен в следующих случаях:

- 1) когда материал незнаком обучающимся, если они не имеют достаточных знаний для объяснения какого-либо биологического объекта, процесса, явления. Например, рассказ о строении молекулы ДНК;
- 2) если дается исторический обзор, справка, биография ученого, история открытия. Например, рассказ об истории открытия Г. Менделем законов наследственности;
- 3) если необходимо красочное описание явления или предмета.

Рассказ может сочетаться с демонстрацией натуральных объектов, таблиц, пособий; с проведением опыта или демонстрацией его результатов; с использованием аудиовизуальных средств наглядности, мультимедийных презентаций; с самостоятельной работой обучающихся.

Отметим положительные черты рассказа: учитель имеет возможность изложить и раскрыть новый, неизвестный для обучающихся материал более системно, логически и последовательно. Из недостатков – это меньшая активность обучающихся, их быстрая утомляемость [13].

Другим важным методом изложения учителем нового материала в средней школе является *беседа*. Беседа – это метод вопросно-ответного способа изучения материала. Построенная учителем на взаимосвязанных между собой вопросах и их осмыслении, предположениях, высказываемых обучающимися, обмене мнениями беседа содействует активизации деятельности и развитию познавательного интереса школьников.

Беседа в процессе обучения биологии на углубленном уровне может использоваться на разных этапах:

- 1) беседа при объяснении нового материала;
- 2) вступительная беседа перед рассказом при переходе к новой теме, для определения уровня знаний обучающихся, чтобы повысить интерес к изучаемой теме;
- 3) заключительная беседа, которая проводится как закрепление вновь изученного материала; вопросы ставятся конкретные, чтобы выяснить, усвоили ли обучающиеся новый материал;
- 4) проверочная беседа при опросе обучающихся, учете и контроле знаний служит, с одной стороны, проверкой знаний, а с другой – повторением изученного материала;

5) повторительно-обобщающая беседа в конце всей темы для подведения итогов, обобщения учебного материала. Здесь беседа носит обобщающий характер, включает всю совокупность понятий, полученных при изучении темы или раздела;

6) беседа при проведении экскурсии; в процессе предварительной беседы рассматриваются цели и задачи экскурсии, характер работы; беседа в ходе экскурсии направляет внимание обучающихся на объект или явление, побуждает сравнивать и сопоставлять объекты, овладевать биологическими понятиями; беседа в конце экскурсии проводится с целью подведения итогов и обсуждения результатов;

7) беседа при выполнении самостоятельной работы направляет и контролирует деятельность обучающихся, выявляет предварительный результат работы, способствует коррекции допущенных ошибок.

Для активизации познавательной деятельности обучающихся беседа должна носить проблемный, поисковый характер. Для проведения проблемной беседы необходимо четко сформулировать проблему и пути ее решения, подготовить вопросы, определить средства и способы, которые помогут решить проблему.

Еще одним методом изложения учителем нового материала является *лекция*. Необходимо отметить, что с целью подготовки обучающихся к дальнейшему обучению в учреждениях среднего и высшего профессионального образования целесообразно при изучении биологии использовать лекционно-семинарскую форму организации учебной работы. Она обеспечивает возможность учителю излагать теоретический материал на лекции целостно, не дробя его на отдельные части, повысит информативность содержания дидактических единиц за счет их укрепления. Лекция формирует у обучающихся умение внимательно слушать учителя, активно воспринимать учебную информацию, осмысливать, логически ее упорядочивать и выделять в ней главное. Лекция дает возможность учителю обучать обучающихся навыкам правильной монологической речи, позволяет повысить темп записи основного содержания и приобрести навыки конспектирования, заложить теоретическую основу для решения биологических задач по теме. Использование лекции как метода обучения высвобождает время для развития индивидуальных способностей обучающихся, грамотного оформления лабораторных работ и проведения зачетных уроков.

Лекция дополняется формами активной самостоятельной работы обучающихся на семинарских занятиях. На них осуществляется первичная проверка усвоения учебного материала, организуется его систематизация и обобщение.

Необходимо отметить, что лекции не вытесняют традиционные формы организации образовательного процесса по биологии – урок, практическую работу, лабораторные занятия, а только дополняют при изучении отдельных, наиболее подходящих для этого тем Программы. Такие темы должны быть сравнительно небольшими по объему, хорошо освещены учебными пособиями, литературой для внеклассного чтения и соответствующими интернет-ресурсами.

На уроках биологии углубленного уровня в 10 классе можно рекомендовать следующие типы школьных лекций (табл. 1).

*Таблица 1*

#### **Типы школьных лекций**

<b>Типы</b>	<b>Описание / Примеры лекций</b>
<i>Вводная лекция</i>	Обеспечивает знакомство с основными теоретическими положениями темы, раздела, научной проблемы. Пример: «Закономерности наследования признаков»
<i>Установочная лекция</i>	Сжатое, компактное, неполное изложение основного материала небольшой темы с последующим изучением на семинаре или на уроке. Пример: «Методы структурной биологии»
<i>Текущая, тематическая (разовая) лекция</i>	Посвящается изучению одного важного вопроса или проблемы. Тематическая лекция может использоваться при любой методике проведения уроков. Изучаемая тема должна иметь значительный теоретический или сложный для усвоения обучающимися материал. Примеры: «Биосинтез белка», «Обмен веществ – метаболизм»
<i>Обобщающая лекция</i>	Данная лекция, как правило, завершающая при изучении темы, раздела или всего курса, после которой предполагается проверка знаний

Типы	Описание / Примеры лекций
	<p>обучающихся по всему изученному материалу.</p> <p>На обобщающей лекции анализируются крупные и актуальные проблемы биологии на основе обобщения и систематизации ранее полученных знаний.</p> <p>При чтении обобщающей лекции важно не свести изложение к простому повторению учебного материала. Здесь важно выделить главную идею, на ее основе обобщить фактические знания, чтобы обучающиеся поняли суть проблемы, запомнили важный материал. Использование такой лекции обеспечивает системность развития понятий, научность мысли.</p> <p>Пример: «Строение и функции клетки»</p>
<i>Обзорная лекция</i>	<p>Используется для рассмотрения узловых вопросов темы, изучение которой предлагается в ознакомительном плане, материал является интересным, но не обязательным, необходимо создать общие представления о проблеме.</p> <p>Она читается и в том случае, если материал в какой-то степени известен обучающимся и может изучаться самостоятельно. На такой лекции даются лишь краткие сведения по теме.</p> <p>Пример: «Значение генетики для медицины»</p>

Обратим внимание, что отбор содержания – это очень важная часть при подготовке к лекции. Для каждого типа лекции характерны свои особенности, своя расстановка акцентов. Особую значимость и важность имеет содержание *установочной* лекции, которая вводит в курс темы, проблемы, теории.

Содержание установочной лекции имеет много общего с содержанием *вводных* лекций, на которых также охватываются проблемы в целом, даются общие положения, опорные знания без детализации. Но есть и существенные отличия между этими типами лекций. Во-первых, проблематика установочной лекции уже вводной. Во-вторых, на установочной лекции излагаемые вопросы

освещаются достаточно широко, иногда на протяжении двух-трех лекций. В-третьих, меняется соотношение между опорными и иными знаниями, дается более глубокий научный анализ темы. Наконец, в содержании значительное место отводится освещению основных аспектов, даются инструкции обучающимся по дальнейшему изучению темы. В содержании вводной лекции доминируют опорные знания. Уровень конкретизации материала низкий, объяснения и обоснования даются в той мере, которая необходима для понимания научных знаний.

В содержании *текущей*, или *разовой*, лекции объяснение и конкретизация учебного материала достигают максимума, имеют большой удельный вес. В этом случае обучающимся предлагается полное содержание учебного материала, раскрытие всех понятий.

Содержание *обобщающей* лекции имеет много общего с вводной – это высокий уровень обобщения знаний, примерно одинаковое соотношение между основным и конкретным материалом. Такая лекция строится на базе уже сформированных понятий. В связи с этим здесь целесообразно воспроизводить только общие понятия, закономерности, познакомить с новыми идеями и открытиями, установить новые связи между понятиями, осветить их с другой стороны. Фактические знания только упоминаются, без уточнения.

В содержание *обзорной* лекции включаются только существенные и значимые вопросы, факты, которые важны для формирования общего представления о предмете.

На основании вышеизложенного отметим, что лекция предполагает определенное воздействие на обучающихся, формирование у них конкретного научного мировоззрения, взглядов, убеждений. Основным стержнем обучения фундаментальным положениям науки являются не столько факты, сколько ключевые идеи и законы. Немаловажной составляющей лекции являются ссылки на авторитетные источники, оценка деятельности ученых, знакомство с научными открытиями.

Особого внимания при обучении биологии заслуживает такой метод, как ***школьный биологический эксперимент***. Эксперимент (от лат. *experimentum* – проба, опыт) – метод познания, при помощи которого в контролируемых и управляемых условиях исследуются явления действительности. От наблюдения эксперимент отличается активным оперированием с изучаемым объектом

и осуществляется на основе теории, определяющей постановку задач и интерпретацию его результатов. Нередко главной задачей эксперимента служит проверка гипотез и предсказаний теории, имеющих принципиальное значение.

Биологический эксперимент включает в себя наблюдение, анализ и синтез, сравнение, рассуждение, умозаключение, доказательство, воображение, речь и другие процессы психической деятельности. Цель биологического эксперимента состоит в том, чтобы в процессе воздействия на исследуемый объект получить такую информацию, которая без этого воздействия недоступна наблюдению, изучению и восприятию.

Основные требования к учебному биологическому эксперименту состоят в следующем: он должен быть доступным, наглядным, значимым в познавательном отношении. Многие ученические эксперименты по биологии длительны по времени исполнения, не укладываются в один урок, поэтому необходимо заранее закладывать опыты, а затем их результаты демонстрировать в связи с изучением соответствующего учебного материала.

#### *Классификация учебных биологических экспериментов*

По характеру поставленных целей учебные эксперименты подразделяются на:

- *исследовательские опыты*, которые направлены на обнаружение у объекта новых, неизвестных свойств;
- *проверочные исследования*, которые служат основой для подтверждения тех или иных теоретических построений.

По методике проведения и задачам на получение результата виды учебного эксперимента делятся на:

- *качественные*, которые носят поисковый характер, ставят задачу выявить само наличие или отсутствие тех или иных теоретически предполагаемых явлений, и не нацелены на получение количественных данных;
- *количественные*, которые направлены на получение точных количественных данных об объекте познания или о процессах, в которых он участвует.

Наконец, учебный биологический эксперимент должен отличаться субъективной новизной для обучающихся, иметь практическую значимость и пробуждать их интерес к биологическим явлениям и процессам, осуществляться

последовательно, способствовать реализации индивидуально-дифференцированного подхода в обучении.

**Лабораторные работы как основной вид учебного биологического эксперимента.** Содержание учебного предмета «Биология» включает большое количество различных лабораторных и практических работ, перечень оборудования для каждой работы. Этому аспекту уделено особое внимание в углубленном уровне изучения биологии, который предусматривает более глубокое освоение обучающимися различных экспериментальных умений. Особое внимание уделяется использованию при организации и выполнении обучающимися этих видов учебной работы не только традиционных методик постановки биологических наблюдений и экспериментов, но и современных, например информационно-компьютерных, технологий (Приложение 12).

Лабораторные занятия, в отличие от урока, в средней школе проводятся методом самостоятельной работы – наблюдения и эксперимента. Они пронизывают всю структуру занятия, а не являются фрагментами, как на уроке. На лабораторных занятиях осуществляется принцип связи теории с практикой, формируются специальные и общеучебные умения и навыки, происходит обобщение полученных знаний.

Лабораторная работа с организацией биологического эксперимента включает обязательные этапы, такие как:

- 1) постановка проблемы, гипотезы, цели и задач;
- 2) инструктаж технический и организационный;
- 3) выполнение работы (определение, наблюдение, постановка опыта);
- 4) фиксация результатов, которая проводится одновременно с выполнением работы;
- 5) формулирование выводов, отвечающих на поставленный вопрос;
- 6) составление отчета или сообщения о своей работе на уроке.

Важным моментом является раскрытие цели лабораторной работы и определение задачи исследования. Хорошо, когда вновь изучаемый вопрос возникает как проблема, которую нужно решить для удовлетворения возникших у школьников интересов. После создания проблемной ситуации и формулировки проблемы необходимо сформулировать предположение, т. е. гипотезу о сущности проблемы, которую нужно решить, затем составить план исследования. Правильно выдвинутая гипотеза обычно определяет, какие опыты

нужно провести. Обучающиеся вначале обдумывают опыты, а затем проводят их самостоятельно. В итоге своей работы на уроке обучающиеся приходят к формулировке необходимых выводов и обобщений по результатам проведенных исследований. Они должны проанализировать результаты опытов и наблюдений, проследить, что подтвердилось и что выпало из рабочей гипотезы, соотнести результаты с целями и после этого сделать общий вывод.

В отличие от урока опрос обучающихся на лабораторном занятии, как правило, не проводится, однако беседа может иметь место. В ходе беседы целесообразно актуализировать теоретические знания обучающихся, которые необходимы для выполнения работы.

Обратим внимание еще на один метод, который в методике преподавания биологии относят к числу особо значимых компонентов учебного процесса в средней школе – это *решение биологических задач* разного уровня сложности. Главное отличие биологических задач от других форм учебных заданий состоит в том, что цель и результаты их решения направлены прежде всего на изменение самого ученика как субъекта учебно-познавательной деятельности, на овладение им определенными способами мыслительной работы.

Биологическая задача в самом общем виде представляется как описывающая какой-то биологический объект явление или процесс информация, содержащая условие, противоречие и вопрос, ответ на который приводит к ее решению. В отличие от традиционных вопросов и заданий биологическая задача всегда ориентирована на проверку достижения обучающимися конструктивного и эвристического уровней усвоения учебного материала, требующих обобщенных и систематизированных прочных знаний. Может сложиться ситуация, когда обучающиеся хорошо знают учебный материал, но не могут решить ту или иную биологическую задачу, воспринимая ее как традиционный вопрос. Особенность биологических задач состоит в том, что многие из них предполагают несколько путей рассуждения, выстраивания разных логических цепочек, приводящих к предполагаемому ответу, к выводу. Решение биологической задачи в этом смысле не только ответ на сформулированный в ней вопрос-требование, а система умственных действий, содействующих развитию мыслительных способностей ученика, формированию умений видеть проблему и находить пути ее решения. Причем мыслительные операции по поиску решения биологической задачи не менее важны, чем правильный ответ.



По своей структуре биологическая задача разделена на две части: *первая – предпосылочная*, несущая определенную информацию в виде условия задачи; *вторая – вопросительная*, содержащая формулировку вопроса, на который надо дать правильный ответ. В условии биологической задачи имеются данные, часто в скрытом и неявном виде. Соотношение этих данных определяет тип биологической задачи: с необходимыми данными; с недостающими данными; с наличием всех и добавлением избыточных данных; с недостатком необходимых и избытком ненужных данных.

Вопрос может стоять в начале, середине или в конце биологической задачи. От четкости его формулировки зависит понимание обучающимися сущности описываемого в биологической задаче объекта, процесса или явления. Ответ на вопрос обучающиеся должны обязательно дать на основе умственных рассуждений, а не простого угадывания. Причем сам процесс поиска правильного ответа должен активизировать мыслительные операции, осуществляемые в режиме обмена мнениями, дискуссии, спора, что особенно важно в случае, если ответ на биологическую задачу является многослойным, состоящим из нескольких развернутых предложений.

Главное условие использования биологических задач в обучении биологии на углубленном уровне – систематическое их применение на разных этапах образовательного процесса:

- 1) в начале изучения темы для активизации познавательной деятельности обучающихся и пробуждения интереса к учебному материалу;
- 2) на этапе закрепления и обобщения изученного материала для упрочнения, запоминания и применения знаний в новых ситуациях;
- 3) при контроле усвоения знаний для выявления уровня достигнутых учебных результатов.

Процесс решения обучающимися биологических задач состоит из последовательных действий: восприятия и осмысления условия задачи; поиска вариантов решения задачи; формулировки окончательного ответа на вопрос задачи.

Пример таких действий вначале должен показать учитель. Он дает обучающимся образцы решения биологических задач и объясняет алгоритм рассуждений: что известно из условия задачи, что надо объяснить, какие знания имеются о предмете задачи и какие дополнительные сведения нужны для ее решения. Целесообразно при этом построить логическую цепочку – ход

рассуждений, отображенный для наглядности на доске или бумаге. Логическая цепочка при этом может получиться разветвленной или неразветвленной. В первом случае от учителя требуется подвести обучающихся к поиску правильного ответа, предложив по ходу рассуждения наводящие вопросы и сообщив необходимые дополнительные сведения по существу условия. Переформулирование условия биологической задачи – важная часть ее решения, позволяющая абстрагироваться от ее содержания, найти наиболее существенные характеристики описываемых в задаче биологических объектов, процессов и явлений. От обучающихся на этом этапе решения биологической задачи требуется умение выдвигать гипотезы, предлагать свои варианты решения, оценивать высказывания других участников образовательного процесса. Некоторые гипотезы могут быть ошибочными, но при решении биологических задач важно не только найти правильные ответы, но и обосновать их, потому что часто, зная ответ на сформулированный в задаче вопрос, обучающиеся не могут доказать его правильность. При построении логической цепочки большое внимание следует уделять именно интуитивному поиску ответа, так как единого алгоритма решения биологических задач не существует.

Таким образом, развитию мышления обучающихся способствует обоснование ими правильности хода решения биологической задачи, включающего анализ условия, его переформулировку и планирование хода решения. Проверку правильности решения лучше всего осуществлять решением обратной задачи или данной задачи, но другим способом. Умение объяснять решение биологической задачи можно считать важным признаком познавательной самостоятельности обучающихся. Развитие этого качества в значительной мере зависит от способности ориентироваться в заданной ситуации. Она складывается из умения обучающихся составлять биологическую задачу, аналогичную решенной; сравнивать планы решения прямых и обратных задач; изменять некоторые элементы задачи (числовые данные, отношения, вопрос и др.), понимать, как внесенные изменения отразятся на решении биологической задачи и ответе.

Такая творческая работа обучающихся в средней школе на углубленном уровне имеет значительный обучающий и развивающий эффект, что в целом положительно сказывается на результатах образовательной деятельности.

Неотъемлемой частью углубленного обучения является **проектная деятельность** обучающихся, организуемая и оцениваемая учителем.

В обновленном ФГОС СОО по-прежнему большое внимание уделяется развитию проектных компетенций обучающихся и это не случайно. Именно проектная деятельность (метод проекта) пользуется большим авторитетом среди обучающихся и учителей по нескольким причинам:

1) в условиях классно-урочной системы занятий она наиболее легко вписывается в учебный процесс. Эта технология позволяет достигать поставленных любой программой, стандартом образования целей по любому учебному предмету, сохраняя при этом достижения отечественной дидактики, педагогической психологии, частных методик;

2) этот метод является гуманистическим, он обеспечивает не только успешное усвоение учебного материала, но и интеллектуальное и нравственное развитие обучающихся, их самостоятельность, доброжелательность по отношению к учителю и друг другу;

3) проекты сплачивают обучающихся, развивают коммуникабельность, желание помочь другим, умение работать в команде и ответственность за совместную работу.

При разработке содержания такой работы важно опираться на предметные знания, без которых невозможно объяснять причинно-следственные связи, проблемные ситуации, практическую значимость теоретического материала. Это позволяет преодолеть господство знаниевого подхода в пользу деятельностного, позволяющего обучающимся продуктивнее усваивать материал.

В основе метода проекта лежат развитие познавательных навыков обучающихся, умение самостоятельно конструировать свои знания, умение ориентироваться в информационном пространстве, развитие критического мышления. «Метод проектов всегда ориентирован на самостоятельную деятельность обучающихся — индивидуальную, парную или групповую, которую обучающиеся выполняют в течение определенного отрезка времени» [14]. Этот метод органично сочетается с обучением в сотрудничестве.

Тематика проектов может касаться какого-то теоретического вопроса Программы и преследовать цель углубления знаний отдельных обучающихся по этому вопросу. Темы проектов могут относиться к вопросу, актуальному для практической жизни и вместе с тем требующему привлечения знаний обучающихся не по одному предмету, а из разных областей, их творческого мышления, исследовательских навыков.

Подбор темы является одним из важных моментов всего ученического проекта особенно на уровне углубленного изучения предмета. Несомненно, во многих учебниках, методических рекомендациях приведены списки типовых тем проектов. Но проблема выбора темы состоит в том, что в некоторых случаях эти темы:

- 1) очень просты или многократно ранее использованы;
- 2) требуют сложного недоступного оборудования;
- 3) невозможны к реализации в школе из-за несовершенства методик, обычно сопутствующих темам.

Также часто предложенные списки тем проектов ограничены и не охватывают всего многообразия школьного научного творчества по биологии, возможного в средней школе.

Зачастую источником тем служит предшествующий опыт учителя или научного руководителя. Это хороший вариант, опирающийся на имеющиеся компетенции научного лидера. Проблемы начинаются через несколько лет руководства школьной проектной деятельностью, когда идеи и энтузиазм в их разработке иссякают, но работа должна продолжаться. Если научный руководитель является действующим ученым, то источником идей может служить его текущая научная деятельность, но, к сожалению, это путь для небольшого количества школ.

Для большей части учителей источником, где можно найти темы проектных работ, служат многочисленные ресурсы, посвященные развитию проектной и исследовательской деятельности. Обратим внимание на некоторые из них.

Прежде всего это может быть литература, посвященная школьному научному эксперименту, включая домашний эксперимент и эксперименты в стиле DIY<sup>1</sup>. Здесь можно использовать как книги, включая научно-популярную литературу, так и журналы – как научно-популярные, так и научно-методические. Также в последнее время все бóльшую роль играют научно-популярные порталы. В наше время доступности автоматического перевода, описанные ресурсы могут быть не только на русском, но и на английском или другом языке.

---

<sup>1</sup> DIY – Do It Yourself (сделай сам, *англ.*).

У экспериментов в этих источниках есть плюсы в виде простоты исполнения и доступности оборудования. Минусом же является то, что не всегда возможно поставить проблемный вопрос, служащий завязкой исследования, либо же сложно поставить цель для разработки проекта. Также зачастую описанные опыты имеют архаичный дизайн, не позволяющий напрямую использовать эти наработки в современной школе. Требования к технике безопасности в последнее время также существенно выросли, и то, что считалось допустимым еще относительно небольшое время назад, сейчас не может быть выполнено в рамках средней школы. Например, это относится к ряду микробиологических экспериментов, связанных с исследованием микрофлоры из внешних источников, содержащих потенциально патогенные микроорганизмы.

Более полезным источником могут быть специализированные сетевые ресурсы, посвященные развитию проектной или исследовательской деятельности. Они содержат уже не только описания экспериментов, но и готовые вопросы к ним, ответ на которые может служить подходящей целью исследовательской деятельности. Они доступны как на русском языке, так и на иностранных языках. Относительной проблемой служит то, что в большей части случаев эти ресурсы созданы, чтобы заинтересовать наукой школьников младших классов, и лишь небольшая часть разработок доступна для активности обучающихся 10–11 классов.

В ряде случаев интерес учителя состоит не только в том, чтобы занять обучающихся проектной деятельностью, но и в том, чтобы эта деятельность имела эффект, выраженный в призах конкурсов и конференций различного уровня. Для более надежного определения данного уровня и для поиска идей для осуществления работы с учениками вполне пригодны архивы конференций и конкурсов, содержащие либо краткие описания работ призеров, по которым можно восстановить их содержание и основные идеи, либо презентации и полные тексты, дающие возможность в полной мере оценить использованные методики и полученные результаты. На их основании возможно построить свою работу с обучающимися, достигающую призового уровня. Кроме российских конкурсов, есть также и международные, архивы которых также открыты для подобного анализа.

Обратим особое внимание на темы работ по смежным предметам (химии, экологии, географии и т. д.). В современное время в большой науке возросла роль

междисциплинарных конвергентных исследований. Соединение в теме одной работы подходов двух-трех смежных дисциплин может обеспечить свежий взгляд даже на ранее известные проблемы и дать школьнику бесценный опыт многостороннего изучения актуальных вопросов.

Также следует отметить, что наше время отличается резко возросшей степенью цифровизации школьного оборудования. Там, где эксперимент ранее занимал часы и дни, современные цифровые лаборатории позволяют выполнить аналогичный объем работы за минуты. Но во внедрении в школьную практику цифровых лабораторий существует много проблем, далеко не всегда даже связанных с недоступностью данного оборудования. Методические материалы, содержащиеся в пособиях, прилагаемых к цифровым лабораториям, далеко не всегда понятны и достаточны. Отсутствие навыка обращения с цифровым оборудованием у учителей и отсутствие количественного эксперимента, опосредованного цифровыми лабораториями, в школьной программе, также не способствует развитию данного направления. Но для проектной деятельности использование цифровых лабораторий открывает новые ранее недоступные тематики. Здесь следует отметить, что на сайтах компаний-производителей цифровых лабораторий обычно присутствуют материалы, включая видеоматериалы, посвященные понятному применению датчиков цифровых лабораторий. При этом необязательно, чтобы описываемые датчики относились именно к тем комплектам, которые доступны в конкретной школе. В силу единообразия общего построения цифровых лабораторий описания, приведенные у одного производителя, могут быть перенесены на более доступную технику другого производителя без потери смысла в большинстве случаев.

Перечисленные выше подходы дают возможность сформировать к началу года достаточный набор тем для проектной и/или исследовательской деятельности по биологии (и смежным предметам), чтобы каждый желающий школьник мог, используя эти темы, выполнить качественную работу, которая при удачном раскладе приведет его к призам на конкурсах и конференциях школьных работ по биологии, дающим, в том числе, баллы в рамках учета дополнительных достижений при приеме в вузы.

В методическом пособии (Приложение 11) приводится список рекомендованных тем проектных и исследовательских работ в соответствии с Программой.

## **2.2. Методика изучения отдельных тем учебного предмета «Биология» на углубленном уровне в 10 классе**

Сегодня школьное образование, в том числе биологическое, отличается консервативностью. Обратная сторона этого факта – постоянно растущий разрыв между содержанием предмета и передним краем науки. Биология заслуженно пользуется репутацией наиболее прорывной науки XXI в. Наше понимание живой материи существенно расширилось в последнюю четверть века. Возможности по преобразованию мира в областях медицины, агротехнологии, биотехнологии и многих других значительно выросли.

В концепции преподавания учебного предмета «Биология» в общеобразовательных организациях Российской Федерации, реализующих федеральные образовательные программы [4], отмечено, что «на уровне среднего общего образования речь уже может идти о предпрофессиональном освоении теоретических основ и практических методов современной биологии». Это обновленное понимание биологии как предмета было заложено в Программу.

Содержание учебного предмета «Биология» углубленного уровня обучения соответствует современному уровню биологических наук. Так, темы курса биологии углубленного уровня для 10 класса посвящены рассмотрению общей организации биологических систем и процессов, основ молекулярной биологии, цитологии, биологии развития, генетики, селекции, биотехнологии; повторению материала по ботанике, зоологии, анатомии и физиологии человека. Введены в Программу новые темы, например: «Клеточная биология», «Биотехнология и синтетическая биология» и др., которые ранее отсутствовали в содержании учебного предмета.

Рассмотрим наиболее трудные темы на уровне, диктуемом актуальной нормативной базой. Также уделим внимание лабораторным и практическим работам, позволяющим приблизить понимание школьниками современного уровня науки биологии.

### **Методические рекомендации по теме «Биология как наука»**

Учебный материал темы «Биология как наука» рассчитан на один урок «Биология как комплексная наука и как часть современного общества» и включает основное содержание:

Современная биология – комплексная наука. Краткая история развития биологии. Биологические науки и изучаемые ими проблемы. Фундаментальные, прикладные и поисковые научные исследования в биологии. Значение биологии в формировании современной естественно-научной картины мира. Профессии, связанные с биологией. Значение биологии в практической деятельности человека: медицине, сельском хозяйстве, промышленности, охране природы.

**Методы и методические приемы обучения.** Материал данной темы носит как повторительно-обобщающий, так и мотивационно-информационный характер. Поэтому на уроке целесообразно использовать как пассивные методы обучения – рассказ, беседу, элементы лекции, так и более активные методы, предполагающие самостоятельную работу обучающихся с различными источниками информации – текстом и рисунками учебника, раздаточными материалами, открытыми источниками.

**Методические рекомендации по организации образовательного процесса.** В ходе изучения данной темы целесообразно познакомить обучающихся с основными вехами развития биологической науки, с учеными, внесшими вклад в развитие биологии. Рекомендуется продемонстрировать обучающимся портреты и рисунки с изображениями Аристотеля, Теофраста, К. Линнея, Ж. Б. Ламарка, Ч. Дарвина, У. Гарвея, Г. Менделя, В. И. Вернадского, И. П. Павлова, И. И. Мечникова, Н. И. Вавилова, Н. К. Кольцова, Н. В. Тимофеева-Ресовского, Дж. Уотсона, Ф. Крика, Д. К. Беляева и др.

После знакомства с именами ученых обучающимся можно предложить заполнить таблицу «Вклад ученых в развитие биологии» (табл. 2).

*Таблица 2*

### **Вклад ученых в развитие биологии**

<b>Ученый</b>	<b>Вклад в развитие биологии</b>

Для систематизации материала о значении биологии в практической жизни человека и формирования умения преобразовывать информацию из одной формы в другую обучающимся может быть предложено задание на самостоятельное составление схемы «Значение биологии в практической



деятельности человека» (схема 1). При составлении схемы может быть использован текст учебника, а также подготовленные учителем статьи, ссылки на интернет-источники.

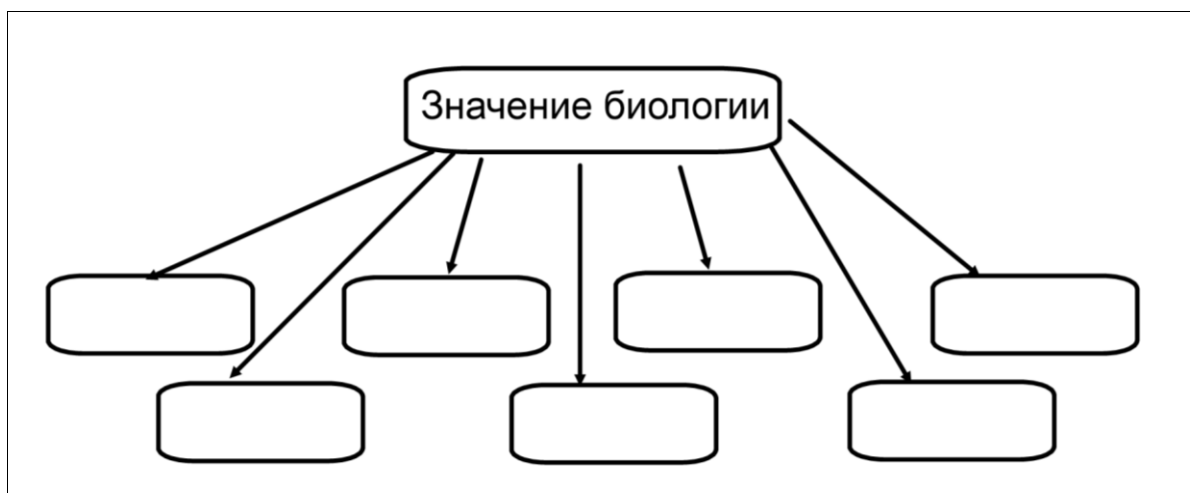


Схема 1. Значение биологии

С целью знакомства обучающихся со связями биологии с другими науками и возможными вариантами профориентации, связанной с биологией, может быть предложено задание на составление таблицы «Связи биологии с другими науками» (табл. 3).

Таблица 3

### Связи биологии с другими науками

Наука	Смежная дисциплина	Предмет изучения	Профессии
Информатика	Биоинформатика	Изучение и разработка компьютерных методов, получение, анализ, хранение, организация и визуализация биологических данных	Биоинформатик

Для демонстрации комплексного характера современной биологии и систематизации знаний обучающихся о биологических науках целесообразно составить таблицу «Биологические науки и изучаемые ими аспекты» либо предложить сделать это в качестве домашнего задания (табл. 4).

### Биологические науки

Название науки	Изучаемые аспекты

В ходе урока также необходимо раскрыть содержание таких понятий, как *научное мировоззрение, научная картина мира, научный метод, гипотеза, теория, методы исследования*. На последующих уроках они будут представлены конкретными примерами, однако на данном уроке целесообразно создать необходимые предпосылки дальнейшего использования биологической терминологии.

Для закрепления биологических терминов и понятий можно предложить обучающимся биологические задачи, решение которых потребует от учеников умения мыслить логически, рассуждать, анализировать, описывая условия или процессы, делать выводы. Приведем примеры биологических задач.

*Задача 1.* Наука начинается с того, что ученые называют наблюдениями и получением данных. На следующем этапе формулируется проблема и выдвигается гипотеза, которая принимается, отвергается или изменяется в зависимости от результатов ее экспериментальной проверки. Что необходимо для выдвижения гипотезы? Может ли компьютер, если в него ввести все собранные в ходе научных наблюдений данные, выдвинуть гипотезу?

*Ответ.* Не существует никакого «механического» правила, с помощью которого можно было бы на основании научных данных выдвигать гипотезу. Для этого ученому необходимо творческое воображение, которого нет у компьютера. Например, данные о гибели и выживании особей в природе не «подведут» компьютер к формированию идеи о естественном отборе.

*Задача 2.* В биологии существуют гипотезы о том, что динозавры были теплокровными животными и что они вымерли после столкновения Земли с астероидом или кометой. Объясните, почему эти гипотезы нельзя признать научными теориями. В чем различие между гипотезой и теорией?

*Ответ.* Научная теория должна быть доступна для экспериментальной проверки, т. е. должна существовать возможность выяснить, верна она или нет. Такой возможности для подтверждения гипотез о теплокровности или гибели

динозавров от столкновения Земли с астероидом или кометой не существует. Кроме того, научная теория не должна противоречить другим теориям, которые считаются в настоящее время подтвержденными.

### **Методические рекомендации по теме «Живые системы и их изучение»**

Учебный материал темы «Живые системы и их изучение» рассчитан на 2 часа в неделю и включает уроки: «Живые системы и их свойства» и «Уровневая организация живых систем».

**Методы и методические приемы обучения.** Рекомендуется при изучении данной темы использовать сочетание активных и пассивных методов обучения – рассказа, эвристической беседы, проблемного изложения, различных форм самостоятельной работы и работы с информацией.

**Методические рекомендации по организации образовательного процесса.** Материал данной темы обобщает знания обучающихся о признаках и свойствах живых организмов. На первом уроке *«Живые системы и их свойства»* рассматриваются такие свойства живых систем, как единство химического состава, дискретность и целостность, сложность и упорядоченность структуры, рост и развитие, открытость, раздражимость, изменчивость, самоорганизация, самовоспроизведение. В связи с этим целесообразно привести примеры проявления данных свойств живых систем у объектов, изученных обучающимися в основной школе: растений, животных, человека. Тем самым демонстрируется единство свойств живых систем и их проявление на разных уровнях организации.

Для комплексной характеристики особенностей живых систем обучающимся может быть предложено задание на составление сравнительной таблицы «Свойства живых систем» (табл. 5).

*Таблица 5*

**Свойства живых систем**

<b>Название свойства</b>	<b>Определение</b>	<b>Примеры проявления</b>

На уроке «*Уровневая организация живых систем*» рассматриваются следующие уровни: молекулярный, клеточный, тканевый, организменный, популяционно-видовой, экосистемный (биогеоценотический), биосферный. Материал данного урока также носит обобщающий характер. Обучающимся знакомы отдельные элементы уровневой организации живых систем – клетки, ткани, органы, системы органов. Необходимо показать их взаимосвязь и иерархический характер уровней организации. Целесообразнее всего продемонстрировать эту особенность на конкретных примерах. Например: атом кислорода – молекула АТФ – нервная клетка – нервная ткань – головной мозг – обыкновенный карась – стая карасей – пруд – биосфера Земли. Рекомендуется использовать средства визуализации: таблицы или слайды с изображениями соответствующих объектов.

Один из подобных примеров может продемонстрировать учитель, еще один-два примера предложить привести обучающимся. Результат данной работы может быть оформлен в виде таблицы «Уровни организации живой природы» (табл. 6).

*Таблица 6*

**Уровни организации живой природы**

<b>Уровни организации</b>	<b>Пример 1</b>	<b>Пример 2</b>

На данном уроке также предусмотрено изучение методов молекулярной биологической науки. Изучение структуры научного метода познания дает возможность повторить и закрепить знания обучающихся, полученные в основной школе, об общенаучных эмпирических методах (наблюдение, измерение, эксперимент), а также изучить систему теоретических методов (анализ, синтез, абстрагирование, моделирование и др.). На этапе первоначального ознакомления обучающихся с особенностями представленных методов важно структурировать представления о каждом из них, а также научить обучающихся пользоваться понятийным аппаратом, который обеспечит их понимание. Например, таких понятий, как «гипотеза», «проблема», «факт», «контроль», «результат», «зависимая переменная», «независимая переменная» и т. д. В дальнейшем при изучении общей биологии обучающиеся

будут рассматривать особенности методов изучения живых систем более детально.

Необходимо, чтобы при изучении данной темы обучающимися были изучены следующие понятия:

1) *гипотеза* – предположение или догадка, утверждение, которое требует доказательства;

2) *нулевая гипотеза* – принимаемое по умолчанию предположение о том, что не существует связи между двумя наблюдаемыми событиями, феноменами;

3) *цель опыта* – это то, что намечено для исследования (установления нового, подтверждения известного), например: выяснить, необходим ли свет для образования крахмала в листьях;

4) *зависимая (изменяющаяся) переменная* – измеряемая в эксперименте переменная, изменения которой связывают с изменениями независимой переменной;

5) *независимая (задаваемая) переменная* – в эксперименте переменная, которая намеренно манипулируется или выбирается экспериментатором с целью выяснить ее влияние на зависимую переменную;

6) *отрицательный контроль* – экспериментальный контроль, при котором изучаемый объект не подвергается экспериментальному воздействию;

7) *результат опыта* – это то фактическое значение, которое получилось в опыте, например: крахмал имеется только в той части листа, которая находилась на свету;

8) *вывод из опыта* – умозаключение по постановке и результатам опыта, сделанное в соответствии с целью данного опыта, например: свет – необходимое условие образования крахмала в листьях.

Особое внимание необходимо уделить методологии биологического эксперимента, который является наиболее сложным методом эмпирического познания, в сравнении со всеми остальными. Эксперимент часто включает в себя другие методы эмпирического исследования – наблюдение, измерение, описание.

Однако эксперимент обладает рядом важных, присущих только ему особенностей:

1) эксперимент позволяет изучить объект в «чистом» виде, что способствует более глубокому пониманию сути явлений и процессов и дает

возможность контролировать важные для данного эксперимента факторы и величины;

2) в ходе эксперимента объект может быть поставлен в некоторые искусственные, экспериментальные условия;

3) при изучении какого-либо процесса экспериментатор может вмешиваться в его ход, изменять объект исследования, помещать его в искусственные условия, активно влиять на его протекание;

4) особенностью многих экспериментов является их воспроизводимость, т. е. возможность повторить их необходимое для получения достоверных результатов количество раз.

На эти особенности эксперимента необходимо обратить особое внимание обучающихся.

Для иллюстрации методологии эксперимента обучающимся могут быть предложены задания следующего типа:

*Пример 1.* Ученый провел эксперимент со спортсменами-добровольцами, осуществлявшими подъем в гору в два этапа. У группы спортсменов трижды осуществляли забор крови: первый раз на высоте 300 м – до подъема в горную деревню на высоту 2135 м над уровнем моря; второй раз – через три недели проживания там; третий раз – после второго этапа – восхождения на высоту 4050 м. В анализах оценивали количество эритроцитов во всех образцах крови (табл. 7).

*Таблица 7*

#### **Анализ крови спортсмена**

<b>Забор крови</b>	<b>Количество эритроцитов, млн/мм<sup>3</sup></b>
Первый	5,5
Второй	7,2
Третий	8,1

*Вопрос.* Какой параметр был задан экспериментатором (независимая переменная), а какой параметр менялся в зависимости от заданного (зависимая переменная)? Исходя из функции эритроцитов в крови, объясните наблюдаемое изменение параметра крови.

*Ответ.*

1) Независимая (задаваемая экспериментатором) переменная – высота над уровнем моря; зависимая (изменяющаяся в зависимости от заданной)

переменная – количество эритроцитов в крови (должны быть указаны обе переменные).

2) Эритроциты транспортируют кислород к клеткам.

3) С увеличением высоты над уровнем моря парциальное давление кислорода (концентрация кислорода) в воздухе уменьшается.

4) Для компенсации кислородного голодания (гипоксии) количество эритроцитов в крови увеличивается.

Материал о методах биологии может быть рассмотрен в ходе практической работы «Использование различных методов при изучении живых систем». Используя различные источники информации, обучающиеся заполняют таблицу «Методы биологии» (табл. 8).

Таблица 8

### Методы биологии

Название метода	Содержание метода	Область применения

В качестве домашней работы обучающимся можно предложить несколько видов заданий.

1. Составьте схему «Инструментальные средства решения биологических задач» (схема 2).

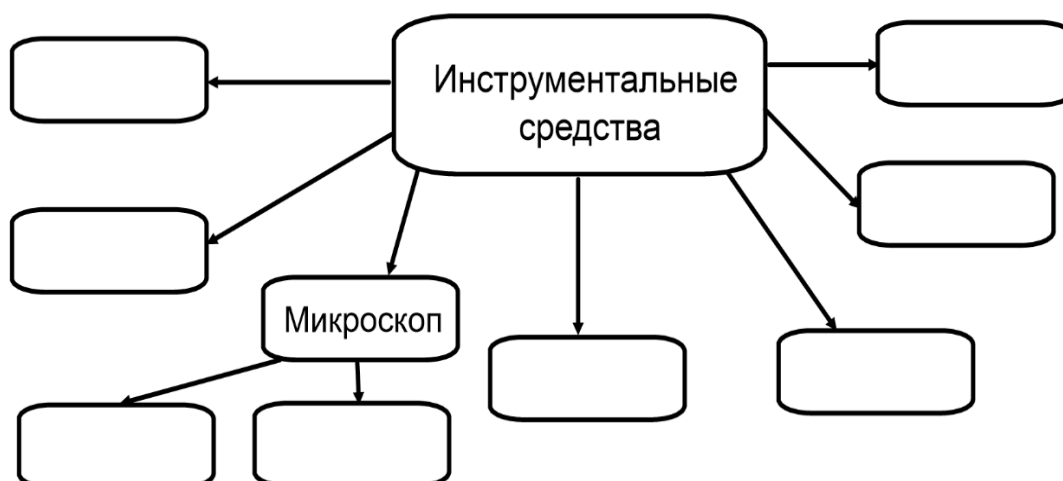


Схема 2. Инструментальные средства решения биологических задач

2. Решите биологические задачи.

*Задача 1.* Биологические системы неразрывно связаны с неорганическим миром и подчиняются его законам. Какие связи живого с неживым обеспечивают существование биологических систем на разных уровнях организации?

*Ответ.* На молекулярно-генетическом уровне живое состоит из химических элементов; на органоидно-клеточном и организменном уровнях осуществляется синтез органических веществ и их расщепление; на биогеоценологическом уровне происходит передача веществ и заключенной в них энергии по пищевым цепям; на биосферном – осуществляется круговорот веществ.

*Задача 2.* С точки зрения химии биологическая система находится в динамическом стационарном состоянии: в нее постоянно поступают и из нее постоянно выводятся вещества, но система в целом при этом сохраняется. Что необходимо для поддержания биологической системой этого состояния? Какие еще процессы в ней происходят? Как это все можно назвать?

*Ответ.* Для поддержания биологической системой динамического стационарного состояния, которое, по существу, и есть жизнь, в системе все время происходит обмен веществ и превращение энергии, самовоспроизведение, саморегуляция и саморазвитие.

### **Методические рекомендации по теме «Биология клетки»**

Учебный материал темы «Биология клетки» рассчитан на 2 часа и включает уроки: «История открытия и изучение клетки. Клеточная теория»; «Методы молекулярной и клеточной биологии».

**Методы и методические приемы обучения.** Рекомендуется провести проблемную беседу с демонстрацией изобразительной наглядности, лабораторные и самостоятельные работы.

**Методические рекомендации по организации образовательного процесса.** На уроке «*История открытия и изучения клетки. Клеточная теория*» рассматривается история открытия клетки и создания клеточной теории. Целесообразно провести этот урок в форме погружения в исторический контекст, чтобы у обучающихся сформировалось эмоционально-личностное отношение к открытиям Р. Гука, А. Левенгука, Т. Шванна, М. Шлейдена,



Р. Вирхова, К. М. Бэра. Для этого могут быть использованы факты биографии ученых, смоделированы ситуации, приведшие к открытиям в области клеточной теории, сформулированы проблемные вопросы, позволяющие понять закономерности появления и развития знаний о клетке. Обучающимся можно предложить заполнить таблицу «Появление и развитие клеточной теории» (табл. 9).

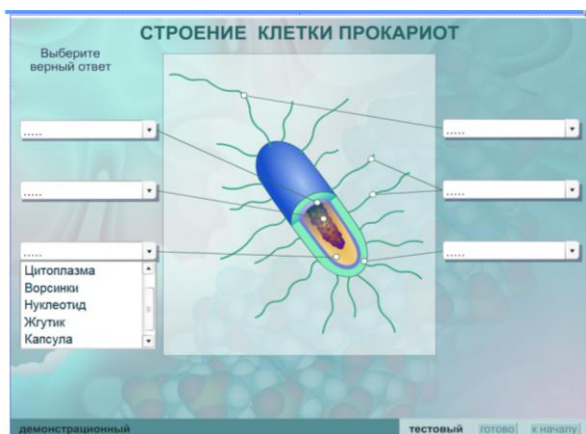
Таблица 9

**Появление и развитие клеточной теории**

Год	Фамилия ученого	Вклад в развитие знаний о клетке
<i>Зарождение понятие о клетке</i>		
<i>Возникновение клеточной теории</i>		
<i>Развитие клеточной теории</i>		

В процессе изучения исторического материала целесообразно подвести обучающихся к самостоятельной формулировке основных положений клеточной теории, что дает возможность понять логику научных открытий в определенные исторические периоды.

На данном уроке необходимо актуализировать знания обучающихся об основных понятиях цитологии: *клетка, органеллы, эукариоты, прокариоты, вирусы, цитология (клеточная биология)*. Для организации повторения могут быть использованы средства наглядности: таблицы, компьютерные слайды, интерактивные задания на установление соответствий между изображениями и названиями органоидов клетки, типами клеток, названиями и функциями клеточных органоидов (рис. 1).



упаковка и накопление веществ

рибосомы

фотосинтез

пластиды

защита содержимого клетки

лизосомы

разрушение органических веществ

цитоплазма

внутренняя среда клетки

аппарат Го ...

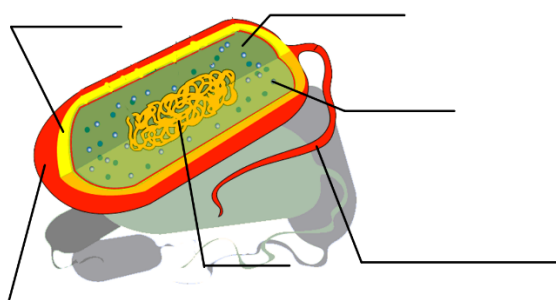
транспорт веществ

МИТОХОНДРИИ

синтез белка

ЭПС

а)



слизистая капсула рибосомы ДНК  
клеточная стенка жгутик цитоплазма



б)

Рис. 1. Возможные варианты интерактивных заданий по актуализации знаний о клетке: а – задания на установление соответствия; б – задания на повторение строения клеток

На уроке по теме «*Методы молекулярной и клеточной биологии*» целесообразно повторить правила работы с микроскопом, технику приготовления, работы и описания временных препаратов. Необходимо также расширить знания обучающихся о возможностях современной микроскопии, познакомив их с методами прижизненного изучения клеток, конфокальной микроскопией. Для этого могут быть использованы видеофрагменты, рисунки, компьютерные слайды.

Также на уроке рекомендовано провести *практическую работу «Изучение методов клеточной биологии (хроматография, электрофорез, дифференциальное центрифугирование, ПЦР)»*.

*Цель работы:* познакомить обучающихся с современными методами биологических исследований, изучить специфику использования современных методов биологии.

*Методические рекомендации.* В ходе выполнения данной практической работы обучающимся предстоит познакомиться с современными методами биологических исследований, изучить специфику использования современных методов биологии.

Перед началом работы необходимо повторить основные задачи биологии, актуализировать информацию об основных биологических науках и изучаемых ими аспектах, познакомиться с современными методами биологических исследований – центрифугированием, хроматографией, электрофорезом.

Изучение теоретического материала целесообразно организовать непосредственно перед проведением соответствующих опытов. Это позволяет обеспечить наилучшее понимание сущности применяемых методов.

Перед началом выполнения этой и последующих практических работ необходимо ознакомиться с техникой безопасности (см. Приложения).

*Лабораторная работа «Разделение пигментов листа методом хроматографии»* (Приложение 1) может быть выполнена обучающимися самостоятельно. При этом необходимо рекомендовать им еще раз ознакомиться с теоретическим материалом для наилучшего понимания закономерностей разделения пигментов. Эти особенности можно наглядно пронаблюдать в ходе выполнения работы и учитывать при выполнении заданий в лабораторном журнале или тетрадях обучающихся.

Для закрепления и систематизации материала о методах клеточной и молекулярной биологии целесообразно составить сравнительную таблицу «Классические методы клеточной и молекулярной биологии» (табл. 10).

*Таблица 10*

#### **Классические методы клеточной и молекулярной биологии**

<b>Название метода</b>	<b>Краткая характеристика</b>

В качестве домашней работы обучающимся можно предложить решить биологические задачи.

*Задача 1.* Для получения изображения в электронном микроскопе используется поток электронов, проходящий через объект и создающий

изображение на экране или фотопленке. На каком свойстве электронов и клеточных структур основано устройство такого микроскопа?

*Ответ.* Электроны проходят сквозь изучаемый объект. Разные части клетки поглощают их, пропускают сквозь себя или рассеивают, причем делают это неодинаково вследствие различной плотности.

*Задача 2.* Метод электрофореза в геле позволяет разделить смеси веществ, выделенных из клетки, определить их химический состав. Состав геля, кислотно-основной баланс в геле, параметры пропускаемого тока являются существенными условиями для четкого разделения компонентов смеси. Объясните почему. На чем основано разделение макромолекул?

*Ответ.* Разделение макромолекул при использовании метода электрофореза в геле основано на разнице их электрического заряда, задаваемого рН среды, молекулярной массы и формы. В зависимости от этих факторов состав геля и параметры электрического тока влияют на скорость движения молекул при электрофорезе, что и дает возможность разделения.

### **Методические рекомендации по теме «Химическая организация клетки»**

На изучение темы «Химическая организация клетки» в Программе отводится 10 часов учебного времени. Тема включает следующие уроки: «Химический состав клетки»; «Органические вещества клетки – белки»; «Органические вещества клетки – углеводы»; «Органические вещества клетки – липиды»; «Нуклеиновые кислоты. Строение и функции ДНК, РНК, АТФ»; «Методы структурной биологии».

**Методы и методические приемы обучения.** При изучении данной темы предлагается провести проблемную беседу с демонстрацией изобразительной и натуральной наглядности. Также планируется постановка демонстрационных опытов, лабораторных работ; самостоятельная работа обучающихся с учебником и учебным пособием; решение биологических задач.

**Методические рекомендации по организации образовательного процесса.** При изучении темы урока *«Химический состав клетки»* целесообразно сформулировать определения *макроэлементы, микроэлементы, ультрамикроэлементы* и охарактеризовать их роль в живых клетках.

Систематизации данного материала будет способствовать заполнение таблицы «Элементный состав клетки» (табл. 11).

*Таблица 11*

### Элементный состав клетки

<b>Группы элементов</b>	<b>Содержание в организме</b>	<b>Элементы, входящие в группу</b>	<b>Роль элементов</b>
Макроэлементы			
Микроэлементы			
Ультрамикроэлементы			

Для расширения знаний обучающихся о биологическом значении химических элементов может быть составлена таблица «Биологическая роль химических элементов» (табл. 12). Данная работа предполагает, что обучающиеся самостоятельно заполняют таблицу с последующей фронтальной проверкой.

*Таблица 12*

### Биологическая роль химических элементов

<b>Название элемента</b>	<b>Значение в живых организмах</b>

Начиная с этого урока и на протяжении всей темы рекомендуется использовать знания обучающихся о типах связей между атомами в молекулах. Роль различных химических веществ, входящих в состав клетки, необходимо раскрывать используя принцип «строение – свойства – функции». В этом случае у обучающихся формируется осознанное понимание влияния особенностей связей атомов в молекулах на отношение данного вещества к воде и другим веществам, что определяет его функции и роль в органическом мире.

Для иллюстрации роли воды в живом организме целесообразно обратиться к знаниям обучающихся об обмене воды в организме человека, что позволяет сформулировать свойства воды как растворителя, реагента, раскрыть ее роль в структурировании клетки, терморегуляции.

При изучении минеральных веществ необходимо раскрыть смысл следующих понятий: *тургор, буферные системы, анионы, катионы* и привести примеры данных процессов и объектов из предыдущих разделов биологии.

Для повышения познавательного интереса обучающимся могут быть предложены следующие биологические задачи.

*Задача 1.* В клетке всех организмов имеется вода. При замерзании она расширяется и может разорвать внутренние структуры клетки, тем самым вызвав гибель организмов. Почему же зимой не погибают озимая пшеница, лягушки, насекомые и многие другие организмы при охлаждении их тела ниже 0 °С?

*Ответ.* Зимующие растения, насекомые, лягушки накапливают вещества антифризы, которые снижают температуру замерзания водных растворов, что предотвращают гибель клеток. Ткани некоторых растений по своей природе таковы, что они не повреждаются кристаллами льда.

*Задача 2.* Буферный раствор – это раствор, содержащий смесь какой-либо слабой кислоты (или слабого основания) и ее растворимой соли. Действие такого раствора заключается в том, чтобы противостоять изменениям рН. Объясните, как это происходит.

*Ответ.* Когда кислотность (концентрация ионов водорода) возрастает, свободные анионы, источником которых служит соль, легче соединяются со свободными ионами водорода и удаляют их из раствора. Когда кислотность снижается, усиливается тенденция к высвобождению ионов водорода. Таким образом буферный раствор поддерживает сбалансированность рН.

Во время изучения темы урока **«Органические вещества клетки – белки»** рекомендуется провести лекцию с элементами проблемной беседы о химическом составе белков, структурах белковой молекулы с демонстрацией изобразительной наглядности.

На данном уроке предполагается проведение *лабораторной работы «Обнаружение белков с помощью качественных реакций»* (Приложение 2).

*Цель работы:* научиться обнаруживать белки в биологических объектах путем проведения качественных реакций. Выявить причины, вызывающие денатурацию белков.

*Методические рекомендации.* Предлагаемая лабораторная работа включает несколько этапов: «Работа № 1. Денатурация белков при нагревании», «Работа № 2. Биуретовая реакция», «Работа № 3. Ксантопротеиновая реакция и нингидриновая реакция».

В ходе выполнения данной лабораторной работы обучающимся предстоит научиться обнаруживать белки в биологических объектах путем проведения качественных реакций, а также выявить причины, вызывающие денатурацию белков. Перед началом проведения работы рекомендуется познакомить обучающихся с историей открытия белков, методами определения белков в среде, ввести понятие качественных реакций на белки. Тем самым создаются предпосылки для изучения нового материала. Также следует познакомить обучающихся с химическим составом, структурой и свойствами белков. При знакомстве с теорией необходимо уделить особое внимание описанию качественных реакций на белки и свойствам белков, что будет способствовать более осмысленному выполнению обучающимися практической части лабораторной работы. Выполнять работы можно в любом порядке.

*Работа № 1 «Денатурация белков при нагревании»* позволяет изучить зависимость свойств белков от температуры и других условий среды. Целесообразно провести данную работу при изучении свойств белков, а полученные в ходе проведения опытов результаты соотнести с информацией из учебника биологии.

*Работы № 2 «Биуретовая реакция» и № 3 «Ксантопротеиновая реакция и нингидриновая реакция»* представляют собой примеры качественных реакций на белки. Уровень сложности данных работ позволяет обучающимся выполнить их самостоятельно. Информация, необходимая для объяснения результатов проведенных реакций, содержится в инструкции к работе. Учитель может проверить правильность выполнения заданий, изучив соответствующие записи в тетради ученика. Проведение эксперимента может осуществляться параллельно несколькими группами обучающихся с последующим сравнением и анализом полученных результатов. Это дает возможность обучающимся сопоставлять данные нескольких экспериментов, делать выводы о необходимости получения данных из разных источников для получения объективной информации о природных процессах и явлениях.

При изучении темы урока «**Нуклеиновые кислоты. Структура и функции ДНК, РНК, АТФ**» проводится лекция с элементами проблемной беседы о строении и функциях нуклеиновых кислот и с демонстрацией изобразительной наглядности (с использованием модели молекулы ДНК). На уроке изучаются нуклеиновые кислоты ДНК и РНК, строение молекулы АТФ, а также уделяется внимание изучению других нуклеозидтрифосфатов (НТФ), секвенированию ДНК (включая геномную ДНК), современным методам геномики, транскриптомики, протеомики. Здесь можно предложить обучающимся подготовить сообщения с презентацией на темы «Открытие двойной спирали ДНК», «Секвенирование ДНК», «Методы геномики». Тезисы основного содержания сообщений записываются в рабочих тетрадях.

При изучении современных разделов молекулярной биологии – геномики, транскриптомики, протеомики целесообразно составить сравнительную таблицу «Постгеномные методы молекулярной биологии» (табл. 13)

*Таблица 13*

#### **Постгеномные методы молекулярной биологии**

<b>Название науки</b>	<b>Предмет изучения</b>	<b>Методы</b>
Геномика		
Протеомика		
Траскриптомика		

Также необходимо сформировать представление о структурной биологии как о науке, изучающей процессы в живых организмах на уровне изменений пространственной структуры отдельных макромолекул. Для обучающихся это может служить примером современного комплексного подхода к изучению различных объектов, находящегося на стыке трех различных наук – биологии, физики и химии. На примере открытия структуры молекулы ДНК может быть показан принцип биохимического и биофизического исследования структуры биомолекул, а также метод моделирования структуры и функций биомолекул и их комплексов. Целесообразно составить сравнительную таблицу (табл. 14).



### Методы структурной биологии

Название метода	Краткая характеристика
Рентгеноструктурный анализ	
Криоэлектронная микроскопия	
Ядерный магнитный резонанс	
Компьютерное моделирование и докинг	

В качестве закрепления учебного материала, обучающимся можно предложить выполнить лабораторную работу «Исследование нуклеиновых кислот, выделенных из клеток различных организмов» (Приложение 3).

*Методические рекомендации.* В ходе выполнения данной лабораторной работы обучающиеся имеют возможность наблюдать нуклеиновые кислоты, выделенные из клеток различных организмов. При несомненной актуальности данной работы до недавнего времени ее выполнение на практике осуществляется достаточно редко, однако предлагаемые методические рекомендации позволяют устранить данное несоответствие.

Перед началом работы целесообразно познакомить обучающихся с ролью ДНК не только как средства хранения наследственной информации в клетке, но и в более широком применении – с различными вариантами использования нуклеиновых кислот в медицине, промышленности, IT-сфере, экологии, являющегося результатом научных разработок. Эта информация показывает десятиклассникам перспективы и возможности современных научных исследований, что является эффективным средством профориентации школьников.

Также целесообразно обратиться к теоретическому материалу, повторить строение, химический состав, структуру и функции нуклеиновых кислот, уделив особое внимание методам работы с ДНК, а также качественным реакциям на ДНК.

При выполнении работы «Исследование нуклеиновых кислот, выделенных из клеток различных организмов» обучающиеся осуществляют процесс выделения ДНК из тканей растений, в качестве которых можно использовать

плоды банана, яблок, киви и др., а затем проводят качественную реакцию на дезоксирибозу. Данную работу рекомендуется выполнять под руководством учителя, так как это дает возможность обучающимся познакомиться с алгоритмом выполнения работы, обсудить полученные результаты, получить помощь и консультации по возникающим затруднениям. Поэтапное выполнение работы согласно инструкции позволяет выделить ДНК из исследуемых образцов и провести качественную реакцию с дифениламином. Необходимо, чтобы в результате получения синей окраски обучающиеся записали в соответствующее поле вывод о том, что это свидетельствует о наличии в исследуемых образцах дезоксирибозы. Учитель может осуществить проверку выполненных работ, воспользовавшись записями в тетрадях обучающихся.

В лабораторной работе предусмотрены контрольные вопросы, которые позволяют проверить уровень усвоения материала не только по теме лабораторной работы, но и в целом о строении, химическом составе, структуре и функциях нуклеиновых кислот.

После изучения темы урока целесообразно предложить обучающимся выполнить ряд заданий на проверку полученных знаний.

*Задание 1. Ответьте на вопросы.*

1. Что такое *секвенирование*?
2. Определите связь между ПЦР и секвенированием.
3. Для чего изобретают и применяют методы секвенирования?
4. Назовите причины, по которым необходимо вести исследования в данном направлении.
5. Изобразите взаимосвязь методов секвенирования и ПЦР-анализа в виде схемы. Какой из них является этапом для другого?
6. Проанализируйте этапы ПЦР-анализа. Сравните их с этапами репликации в интерфазе.
7. Смоделируйте ситуацию: *«В ближайшем будущем секвенирование станет таким же обыденным методом исследования, как общий анализ крови»*. К каким экономическим, социальным и этическим последствиям может привести широкое применение этого метода?
8. Обсудите и оцените следующее мнение: *«Секвенирование не панацея и даже не претензия на панацею. Это всего лишь еще один диагностический метод, как термометр или тонометр. Само по себе*

*секвенирование ничего не изменит ни в фармакологии, ни в терапии, а только лишь в диагностике наследственных заболеваний».*

*Задание 2.* Решите биологические задачи.

*Задача 1.* Лишить клетку генетической информации можно, облучив ее большой дозой рентгеновских лучей, которые разрушают нуклеиновые кислоты – носители этой информации. Сразу после облучения никаких видимых изменений не происходит, но спустя короткое время клетка погибает. С чем это связано?

*Ответ.* Большинство компонентов живого находится в динамическом состоянии: вещества постоянно расходуются и пополняются. Разрушение нуклеиновых кислот делает невозможным пополнение белков, и клетка погибает.

*Задача 2.* В отличие от ДНК, сохраняющейся в клетке, молекулы иРНК довольно быстро распадаются. Время их существования варьируется от нескольких минут у бактерий до нескольких часов или дней у высших животных. Как это можно объяснить? Почему иРНК столь недолговечны?

*Ответ.* Если бы молекулы иРНК были столь же стабильны, как молекулы ДНК, то клетка, однажды синтезировав их, уже не могла бы управлять синтезом соответствующих белков, например тех, которые ей больше не нужны.

### **Методические рекомендации по теме «Строение и функции клетки»**

Изучение темы «Строение и функции клетки» в Программе по биологии рассчитано на 8 часов учебного времени. Они отведены на проведение уроков: «Типы клеток. Прокариотическая клетка»; «Строение эукариотической клетки. Поверхностный аппарат клетки»; «Цитоплазма и ее органоиды»; «Немембранные органоиды клетки»; «Строение и функции ядра»; «Сравнительная характеристика клеток эукариот».

**Методы и методические приемы обучения.** Учитывая, что материал по строению клетки обучающимся в определенной степени известен, рекомендуется использовать лекционно-семинарскую систему занятий с демонстрацией изобразительной наглядности; проведение лабораторных работ и самостоятельная работа; решение биологических задач.

**Методические рекомендации по организации образовательного процесса.** Первый урок проводится в виде лекции, на которой подробно

рассматриваются строение и свойства плазматической мембраны, поступление веществ через клеточную мембрану. Целесообразно предложить обучающимся самостоятельно составить схему «Функции мембраны» (схема 3).

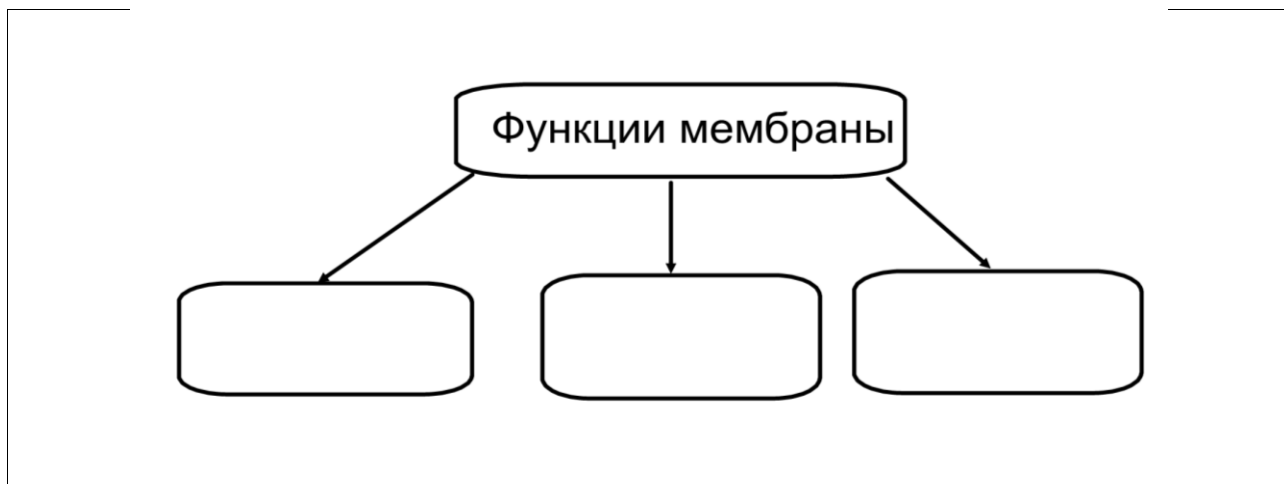


Схема 3. Функции мембраны

Обзорно дается материал об одномембранных, двумембранных и немембранных органоидах клетки, который может быть систематизирован в виде схемы «Органоиды клетки» (схема 4).



Схема 4. Органоиды клетки

Остальные занятия проводятся в форме семинаров, на которых обсуждается строение каждой группы органоидов.

Так при изучении темы урока *«Цитоплазма и ее органоиды»* рекомендуется провести лекцию с элементами эвристической беседы о строении и функциях цитоплазмы и органоидов эукариотической клетки. Можно также предложить обучающимся подготовить сообщения об истории открытия органоидов клетки.

Перед началом урока целесообразно поставить *проблемные вопросы* по теме:

1. Как взаимосвязаны между собой одномембранные органоиды клетки? Проследите путь веществ от момента их синтеза до момента выхода из клетки. С какими органоидами связаны эти процессы? Что представляют собой пищеварительные вакуоли простейших?
2. В двумембранных органоидах внутренняя мембрана имеет многочисленные выросты, складки в виде крист и тилакоидов. Объясните необходимость этих выростов, исходя из функций этих органоидов. Как можно объяснить наличие в этих органоидах собственной ДНК и рибосом, а также двух мембран?
3. От чего зависит форма клетки? Какие структуры ее поддерживают?

При изучении этой темы выполняется *практическая работа «Изучение движения цитоплазмы в растительных клетках»* и *лабораторная работа «Исследование плазмолиза и деплазмолиза в растительных клетках»*.

Для проведения *практической работы «Движение цитоплазмы в растительных клетках»* желательно использовать не менее двух объектов. Это даст возможность сравнить процесс движения цитоплазмы в различных клетках и сделать правильные выводы. Для успешного проведения работы необходима предварительная подготовка объектов, так как движение цитоплазмы не всегда удастся наблюдать. *Элодея зубчатая* – аквариумное растение, оно неприхотливо и хорошо растет в комнатных условиях. Для работы лучше использовать листья, которые на ветке располагаются в середине или на вершине. Срывать их следует осторожно рукой или срезать острым скальпелем. Хорошим объектом является и другое аквариумное растение – *валлиснерия*. У нее клетки значительно крупнее, что облегчает наблюдение. Кроме того, движение цитоплазмы идет значительно интенсивнее и дольше в самых разных частях листа. Валлиснерия хорошо живет в аквариуме и довольно длительное время в банке. Для приготовления микропрепарата пригодны все части листа. Если листья тонкие, то достаточно срезать часть листа скальпелем. Если лист толстый, то необходимо приготовить срез. Для этого поместите лист между несколькими слоями плотной бумаги, сложенными в виде книжечки. Туда же введите лезвие бритвы, сожмите книжечку и рассеките лезвием пластину листа вдоль. Срезы необходимо перенести лезвием бритвы в чашку Петри с водой для дальнейшего

сохранения. Обучающимся выдаются готовые срезы. В качестве объектов можно использовать и такие аквариумные растения, как водоросли *нителлу* и *водокрас*. До начала занятия веточку элодеи целесообразно подержать под лампой 1–2 ч, а листья валлиснерии – 30 мин. Температура воды, в которой содержатся растения, не должна превышать 36–37 °С. Можно добавить в воду несколько капель 96%-го спирта.

Для выполнения работы необходимо использовать увеличение микроскопа в 300–400 раз (объектив/окуляр 40/10 или 20/15). Движение цитоплазмы может быть значительным в одних клетках и отсутствовать в других. Оно обычно становится более активным через 10–15 мин после приготовления препарата. У элодеи движение цитоплазмы обнаруживается вначале вдоль жилки листа, а затем и в других клетках. У валлиснерии движение интенсивнее в более крупных клетках.

Перед проведением *лабораторной работы «Плазмолиз и деплазмолиз в растительных клетках»* (Приложение 4) целесообразно провести актуализацию знаний обучающихся с использованием следующих вопросов:

1. Назовите главную структуру любой клетки.
2. Чем плазматическая мембрана отличается от клеточной оболочки?
3. Как в клетку поступают вода, белки, катионы и анионы?
4. Какими свойствами обладает плазматическая мембрана?

После того как будут названы свойства плазматической мембраны – эластичность и полупроницаемость, предлагается познакомиться с данными свойствами в ходе проведения опыта. Необходимо акцентировать внимание школьников на том, что при потере воды объем цитоплазмы в клетке уменьшается, а при поступлении воды увеличивается до первоначального. Это свойство позволяет клеткам переносить временное обезвоживание и поддерживать постоянство своего состава. Плазмолиз – искусственно вызываемое отставание цитоплазмы от оболочки клетки. Деплазмолиз – исчезновение плазмолиза. В качестве веществ, растворы которых вызывают плазмолиз, используют неядовитые вещества, слабо проникающие через цитоплазму в вакуоль. Целесообразно предложить обучающимся назвать примеры веществ, с помощью которых можно наблюдать процесс плазмолиза (соль, сахар). Следует обсудить с обучающимися значение полупроницаемости мембраны. Необходимо обеспечить понимание того, что если бы мембрана была

проницаемой, то происходило бы выравнивание концентраций клеточного сока и гипертонического раствора путем диффузного перемещения воды и растворенных веществ из клетки в раствор и обратно. Однако мембрана, обладая свойством полупроницаемости, не пропускает внутрь клетки растворенные в воде вещества. Напротив, только вода, согласно законам осмоса, будет высасываться гипертоническим раствором из клетки, т. е. передвигаться через полупроницаемую мембрану. Объем вакуоли уменьшится. Цитоплазма в силу эластичности следует за сокращающейся вакуолью и отстает от оболочки клетки сначала в уголках, затем во многих местах с образованием вогнутых поверхностей. При погружении плазмолизированной клетки в воду или гипотонический раствор наблюдается деплазмолиз.

После проведения работы обучающимся необходимо ответить на контрольные вопросы, которые могут быть включены в домашнее задание.

Целесообразно также заполнить таблицу «Строение и функции органоидов клетки» (табл. 15).

*Таблица 15*

#### **Строение и функции органоидов клетки**

<b>Название органоида</b>	<b>Особенности строения</b>	<b>Функция</b>

Также обучающимся может быть предложено самостоятельно составить сравнительную таблицу (табл. 16).

*Таблица 16*

#### **Сравнительная характеристика растительной и животной клеток**

<b>Признак</b>	<b>Растительная клетка</b>	<b>Животная клетка</b>	<b>Грибная клетка</b>
Клеточная стенка			
Запасное питательное вещество			
Наличие пластид			
Центриоли			
Наличие вакуолей			

При изучении темы «*Строение и функции ядра*», учитель ставит цель: *сформировать* знания о строении и функции ядра, о его химическом составе, роли хромосом в жизнедеятельности клеток (Приложение 9).

Тема урока включает основные элементы содержания: ядро – главная часть клеток грибов, растений, животных, человека; особенности строения ядра неделящейся клетки; ядерный белковый матрикс; пространственное расположение хромосом в интерфазном ядре; эухроматин и гетерохроматин; белки хроматина – гистоны; динамика ядерной оболочки в митозе; ядерный транспорт; клеточные включения; сравнительная характеристика клеток эукариот (растительной, животной, грибной).

Перед началом урока учитель может поставить перед обучающимися *проблемные вопросы*:

1. Назовите основные части строения ядра клетки?
2. Как осуществляется обмен вещества между ядром и цитоплазмой?
3. Что такое хроматин?
4. Как устроены и из чего состоят хромосомы?
5. Как соотносится число хромосом в соматических и половых клетках?
6. Какие хромосомы называют гомологичными?
7. Что такое кариотип? Дайте определение.
8. Какой хромосомный набор называется гаплоидным; диплоидным?
9. Что такое ядрышко?

Для систематизации знаний обучающихся о строении ядра целесообразно предложить выполнить задания.

*Задание 1.* Самостоятельно заполнить таблицу «Строение и функции ядра» (табл. 17).

*Таблица 17*

### **Строение и функции ядра**

<b>Части ядра</b>	<b>Особенности строения</b>	<b>Функция</b>



*Задание 2.* Решить биологические задачи.

*Задача 1.* До 40-х гг. XX в. образование, окружающее ядро клетки, называли ядерной мембраной. Позже оно получило другое название – ядерная оболочка. Предположите, почему это произошло. Какой из этих биологических терминов более точный? Объясните почему?

*Ответ.* В световом микроскопе, который до середины XX в. оставался основным средством цитологических исследований, мембрана, окружающая ядро, представлялась одинарной. С изобретением электронного микроскопа стало ясно, что вокруг ядра имеется две мембраны: наружная и внутренняя, поэтому появилось другое, более точное название – ядерная оболочка.

*Задача 2.* Существуют эукариотические клетки, например зрелые эритроциты млекопитающих, у которых на протяжении большей части их жизни ядра отсутствуют, хотя они и имелись в тот период, когда клетки были молодыми. С чем в данном случае связано отсутствие ядер? Что можно сказать о продолжительности жизни таких клеток и их способности к делению?

*Ответ.* Ядро в эритроцитах исчезает в процессе дифференцировки молодых клеток и в связи со специализацией по функциям. Продолжительность жизни эритроцитов невелика (120 суток), и они не способны делиться.

### **Методические рекомендации по теме**

#### **«Обмен веществ и превращение энергии в клетке»**

На изучение темы «Обмен веществ и превращение энергии в клетке» в Программе отводится 9 часов учебного времени. В данной теме предусмотрены уроки: «Обмен веществ – метаболизм», «Автотрофный тип обмена веществ. Фотосинтез», «Автотрофный тип обмена веществ. Хемосинтез», «Энергетический обмен – диссимиляция».

**Методы и методические приемы обучения.** При изучении данной темы рекомендуется проводить лекции с элементами проблемной беседы. Также планируется демонстрация изобразительной наглядности; постановка демонстрационных опытов; самостоятельная работа обучающихся с учебником, учебным пособием и интернет-ресурсами; решение биологических задач.

**Методические рекомендации по организации образовательного процесса.** Данная тема – одна из самых сложных в курсе биологии, так как в ней рассматриваются химические процессы, протекающие на клеточном уровне.

Для понимания биохимии клетки необходимо привлечь знания по химии и физике. На первом уроке *«Обмен веществ – метаболизм»* проводится проблемная лекция, на которой рассматриваются основные ключевые вопросы темы. На втором уроке *«Автотрофный тип обмена веществ. Фотосинтез»* проводится семинар, где углубляются, развиваются и дополняются понятия, рассмотренные на лекции.

При изучении фотосинтеза основная проблема состоит в определении этапов преобразования энергии солнечного света в энергию химических связей глюкозы. Кроме того, необходимо проследить путь протонов водорода, образованных при фотолизе воды.



При объяснении особенностей фотохимических реакций в световой фазе фотосинтеза следует актуализировать знания обучающихся по физике – о фотоэффекте, по химии – об электролитической диссоциации и окислительно-восстановительных реакциях.

Изучение этапов энергетического обмена в теме *«Энергетический обмен – диссимилиация»* базируется на знаниях обучающихся, полученных при изучении раздела «Человек и его здоровье», об обмене веществ, особенностях расщепления питательных веществ (белков, жиров, углеводов) в пищеварительном тракте человека. В этой теме интегрируются также знания по химии – о реакциях гидролиза, окисления, тепловом эффекте химических реакций. При изучении процесса полного окисления веществ, протекающего в митохондриях, важно объяснить, что весь углекислый газ образуется при декарбоксилировании пировиноградной кислоты и других веществ в цикле Кребса. В результате последовательных реакций водород связывается с переносчиком НАД<sup>+</sup> и поступает на дыхательную цепь ферментов, расположенных на кристах митохондрий. Кислород, который поступает в процессе дыхания в митохондрии, окисляет водород, при этом выделяется значительное количество энергии, которая запасается в молекулах АТФ. Из курса химии обучающимся предлагается вспомнить, что водород горит с выделением значительного количества энергии.

На первом уроке при изучении вопроса о ферментативных реакциях обмена веществ и свойствах ферментов выполняются две лабораторные работы:

«Изучение каталитической активности ферментов (на примере амилазы или каталазы)» и «Изучение ферментативного расщепления пероксида водорода в растительных и животных клетках». Их лучше провести на одном лабораторном занятии.

Цель данных работ: обнаружение ферментов в живых клетках, изучение их роли в жизнедеятельности клеток, установление ферментативного характера реакций обмена веществ. Кроме того, углубляются знания обучающихся о свойствах и функциях белков в организме, доказывається их специфичность по отношению к субстрату на примере действия амилазы в различных условиях.

*Лабораторная работа «Изучение каталитической активности ферментов (на примере амилазы или каталазы)» (Приложение 5).*

*Цель работы:* исследовать каталитическую активность белков-ферментов в клетках и ее зависимость от условий среды; показать высокую специфичность белков-ферментов.

*Методические рекомендации.* При выполнении данной работы обучающимся предстоит исследовать каталитическую активность белков-ферментов в клетках и ее зависимость от условий среды; убедиться в высокой специфичности белков-ферментов. При проведении работы необходимо акцентировать внимание обучающихся на особенности работы ферментов – способности ускорять химические реакции, оставаясь при этом неизменными.

Перед проведением работы целесообразно изучить теоретический материал по теме работы, обратив при этом внимание обучающихся на свойства ферментов – специфичность, зависимость от температуры и pH среды, а также познакомиться со схемами строения фермента и механизма действия фермента.

*Работа № 1 «Ферментативный гидролиз крахмала амилазой слюны»* включает три опыта: гидролиз крахмала, обнаружение крахмала, обнаружение глюкозы. В первом опыте целесообразно обсудить необходимость использования двух пробирок – опытной и контрольной. При проведении опыта по обнаружению крахмала следует не только сравнить окраску растворов, полученную при добавлении иода, но и предложить обучающимся объяснить причины ее различия, зафиксировав их ответы в лабораторном журнале или рабочих тетрадях.

*Работа № 2 «Специфичность действия ферментов»* состоит из одного опыта. По ходу работы необходимо исследовать действие ферментов слюны на крахмал и сахарозу, а также как действие фермента сахаразы на крахмал и сахарозу. В конце выполнения опыта необходимо объяснить окраску полученных растворов в лабораторном журнале или рабочих тетрадях.

По окончании выполнения работы необходимо провести контрольное тестирование, выявляющее уровень усвоения материала по теме лабораторной работы.

Перед проведением *лабораторной работы «Изучение ферментативного расщепления пероксида водорода в растительных и животных клетках»* (Приложение 6) необходимо провести актуализацию знаний и создать проблемную ситуацию.

Для этого могут быть использованы следующие вопросы:

1. Какие органические молекулы вам известны?
2. Какие органические вещества входят в состав растительных, животных организмов?
3. Что можно сказать о многообразии функций белковых молекул? Дайте определение денатурации.
4. Объясните явление ренатурации. В чем биологическое значение данного процесса?
5. Каковы причины необратимой денатурации белковых молекул?
6. Как можно убедиться в наличие тех или иных молекул органических веществ в тканях растительных и животных организмов?

*Цель работы:* расширить знания о функциях и свойствах белковых молекул, выполнив лабораторную работу по изучению каталитической активности ферментов. В ходе работы необходимо установить наличие фермента каталазы в живых клетках, доказать его специфичность и активность в физиологической среде.

*Методические рекомендации.* В ходе выполнения лабораторной работы целесообразно провести анализ проблемной ситуации и подвести обучающихся к пониманию того, что перекись водорода – неустойчивое вещество, которое разрушается с образованием воды и молекулярного кислорода. При комнатных условиях, на свету процесс идет медленно. На живых тканях растительных организмов (картофель, свекла, морковь), животных организмов (курица),

грибов (дрожжи) процесс протекает практически мгновенно. На тканях, подвергшихся термической обработке (например, вареный картофель, вареное мясо), разрушения перекиси водорода практически не происходит. В ходе выполнения работы и последующего обсуждения необходимо, чтобы обучающиеся смогли объяснить различную каталитическую активность фермента каталазы в клетках тканей растительных и животных организмов: живых тканей и тканей, подвергшихся термической обработке.

В ходе проведения работы может быть использован следующий теоретический материал: каталаза – фермент, который катализирует разложение образующегося в процессе биологического окисления пероксида водорода на воду и молекулярный кислород, а также окисляет в присутствии пероксида водорода низкомолекулярные спирты и нитриты; содержится почти во всех организмах; участвует в тканевом дыхании; относится к хромопротеидам, имеющим в качестве простетической (небелковой) группы окисленный гем. Специфичность каталазы в отношении к субстрату-восстановителю невелика, поэтому она может катализировать не только окисление некоторых неорганических веществ, но и окисление низших спиртов. Функция каталазы сводится к разрушению токсичного пероксида водорода, образующегося в ходе различных окислительных процессов в организме.

После выполнения лабораторной работы необходимо ответить на контрольные вопросы и сделать вывод о наличии фермента каталазы в живых клетках, его специфичности и активности в физиологической среде.

В ходе изучения данной темы предусмотрено выполнение *практической работы «Сравнение процессов брожения и дыхания»*, в ходе которой необходимо выявить черты сходства и различия в протекании процессов брожения и дыхания. Одним из вариантов работы может быть составление и заполнение сравнительной таблицы (табл. 18).

*Таблица 18*

**Сравнительная характеристика процессов брожения и дыхания**

<b>Признаки</b>	<b>Брожение</b>	<b>Дыхание</b>
Для каких организмов характерно		
Для чего служит		
Где происходит		

<b>Признаки</b>	<b>Брожение</b>	<b>Дыхание</b>
Наличие бескислородного этапа (гликолиза)		
Наличие кислородного этапа		
Форма запасания энергии		
Количество высвобождающейся энергии		
Конечные продукты		

Сходным образом выполняется *практическая работа «Сравнение процессов фотосинтеза и хемосинтеза»*.

*Цель работы:* сравнить процессы фотосинтеза и хемосинтеза, выявить особенности процессов фотосинтеза и хемосинтеза, выяснить значение фотосинтеза и хемосинтеза для биосферы.

В процессе самостоятельной работы с материалами учебника, дополнительной литературой, интернет-ресурсами обучающиеся заполняют сравнительную таблицу (табл. 19).

*Таблица 19*

### **Сравнение процессов фотосинтеза и хемосинтеза**

<b>Признаки для сравнения</b>	<b>Фотосинтез</b>	<b>Хемосинтез</b>
Определение процесса		
Где происходит		
Наличие световой и темновой фаз		
Источник энергии		
В каком веществе запасается энергия		
Наличие пигментов		
Использование кислорода		
Источник углерода		
Конечные продукты реакций		
Для каких организмов характерен		
Способ питания организмов		

<b>Признаки для сравнения</b>	<b>Фотосинтез</b>	<b>Хемосинтез</b>
Уравнения реакций		
Фамилия ученого, открывшего процесс		
Биологическая роль процесса		
Значение процессов в биосфере		

Для повышения познавательного интереса обучающимся могут быть предложены биологические задачи.

*Задача 1.* Если этиловым спиртом экстрагировать из листьев хлорофилл и осветить этот раствор, то он начнет флуоресцировать – поглощенная энергия будет высвечиваться вишнево-красным светом при возвращении возбужденных электронов в «основное состояние». В хлоропластах этого не происходит. Почему? Какое значение это имеет для процесса фотосинтеза?

*Ответ.* Молекулы хлорофилла в хлоропластах организованы в мембранах тилакоидов таким образом, что возбужденные электроны не возвращаются сразу же в «основное состояние», а передаются другим молекулам по электронно-транспортной цепи световых реакций фотосинтеза.

*Задача 2.* Фотосинтез в растении протекает неравномерно в течение светового дня. Утром, обычно около 9–10 часов, наблюдается наиболее интенсивный фотосинтез, затем между 12 и 16 часами он снижается, а к 17–18 часам опять возрастает. Если нарисовать кривую дневного хода фотосинтеза, то она будет иметь два максимума: утром и во второй половине дня, с провалом в полуденные часы. С чем это связано?

*Ответ.* В полуденные часы в листьях накапливается крахмал – продукт фотосинтеза, и уменьшается количество воды, необходимой для протекания реакций световой фазы, к тому же в клетках снижается тургор, что приводит к закрытию устьиц и снижению поступления в лист  $\text{CO}_2$ .

### **Методические рекомендации по теме**

#### **«Наследственная информация и ее реализация в клетке»**

Тема «Наследственная информация и ее реализация в клетке» изучается в течение 9 часов учебного времени. Она включает следующие уроки: «Реакции

матричного синтеза»; «Синтез белка»; «Механизмы экспрессии генов»; «Основы вирусологии. Информационная биология».

**Методы и методические приемы обучения.** При изучении данной темы предлагается проводить лекции с элементами беседы и демонстрацией изобразительной и натуральной наглядности. Также планируется постановка демонстрационных опытов, лабораторных работ; самостоятельная работа обучающихся с учебником и учебным пособием; решение биологических задач.

**Методические рекомендации по организации образовательного процесса.** Изучению данной темы предшествует изучение химического состава и строения клетки, что создает необходимые предпосылки для понимания сущности процессов, происходящих в ходе реализации наследственной информации в клетке.

Изучение темы урока *«Реакции матричного синтеза»* целесообразно начать эвристической беседой, в процессе которой обсуждаются особенности пластического обмена как совокупности реакций биологического синтеза, в ходе которых образуются сложные органические вещества из более простых.

В начале беседы целесообразно предложить обучающимся вспомнить, какие органические вещества входят в состав клетки. Этот вопрос, как правило, не вызывает затруднений, и обучающиеся в качестве органических веществ называют белки, углеводы, липиды, нуклеиновые кислоты либо приводят конкретные примеры этих соединений.

Далее им предлагается вспомнить, что является составными компонентами сложных органических веществ, после чего нужно подвести обучающихся к выводу о том, что в процессе биологического синтеза образуются полисахариды из моносахаридов, жиры из глицерина и жирных кислот, белки из аминокислот.

Можно предложить обучающимся оформить этот вывод в виде схемы, показывающей сходный принцип образования сложных органических соединений из более простых веществ. Следует отметить более простой характер синтеза углеводов и липидов как следствие отсутствия специфичности в строении этих веществ.



Синтез белков, в отличие от синтеза углеводов, протекает гораздо сложнее. Для того чтобы обучающиеся самостоятельно пришли к выводу о причинах более сложного характера синтеза белка, необходимо предложить им вспомнить отличительные особенности белков (сложное строение, наибольшее количественное отношение, различные функции, специфичность для каждого организма) и как следствие – разнообразие его признаков.

Исходя из этих особенностей, изучение темы урока «*Синтез белка*» представляет наибольший интерес с точки зрения понимания индивидуальности каждого организма. На примере признаков человека можно обсудить с обучающимися причины вариативности одних признаков и схожести других. Можно предложить обучающимся назвать различные признаки человека и предложить оценить степень их вариативности у разных людей.

Также целесообразно обсудить с обучающимися причину того, почему одни признаки (цвет глаз, волос, рост, пигментация кожи) более разнообразны, чем признаки, отвечающие за жизненно важные процессы – размеры сердца, состав крови, строение мышц. В ходе данного обсуждения необходимо подвести обучающихся к выводу о том, что проявления всех признаков человека определяются особенностями строения белков, которые, в свою очередь, определяются последовательностью аминокислотных остатков.

На предыдущих уроках обучающиеся изучали строение нуклеиновых кислот и имеют представление об их роли в хранении и передаче наследственных признаков. Необходимо связать примеры сходства и различия признаков человека с информацией о строении первичной структуры их белков, «записанной» в молекулах ДНК.

На данном этапе урока целесообразно повторить строение ДНК, вспомнить, что единицей строения ДНК являются нуклеотиды. Для актуализации знаний о строении нуклеиновых кислот обучающимся могут быть предложены следующие виды заданий:

1. Определите тип нуклеиновой кислоты по схеме и объясните, по какому ключевому признаку вы это сделали.
2. Установите соответствие между типом нуклеиновой кислоты, особенностями строения и функцией.
3. Соотнесите термин с типом нуклеиновой кислоты.

После того как будет сформулирован вывод, что в нуклеотидах ДНК хранится информация о первичной структуре белка, необходимо сформулировать проблемный вопрос: как закодировать двадцать аминокислот, входящих в состав белков, с помощью четырех нуклеотидов ДНК?

Через демонстрацию простого примера из комбинаторики необходимо показать обучающимся, что с помощью четырех нуклеотидов можно закодировать всего четыре аминокислоты, но если взять их по два, то число комбинаций возрастет до шестнадцати, чего, однако, недостаточно для кодирования всех аминокислот.

Но если составить комбинации из трех нуклеотидов – триплеты, то этого вполне достаточно, чтобы закодировать двадцать аминокислот, так как в том случае число возможных комбинаций достигнет шестидесяти четырех вариантов.

Далее вводится понятие *генетический код*, которое может быть рассмотрено в контексте истории расшифровки генетического кода ДНК Г. Гамовым, М. Ниренбергом и другими учеными.

Наряду с фамилиями зарубежных ученых, получивших признание благодаря открытиям в области молекулярной биологии, необходимо назвать имя Николая Константиновича Кольцова – российского и советского ученого, высказывавшего идеи, на несколько десятилетий опередившие свое время. Еще в первой половине XX в. Кольцовым был открыт цитоскелет, выдвинута гипотеза строения наследственных молекул и сформулирован матричный принцип передачи наследственной информации.

После изучения истории расшифровки генетического кода необходимо рассмотреть свойства генетического кода – *триплетность, однозначность, вырожденность, универсальность, неперекрываемость, непрерывность*, которые целесообразно записать в виде схемы или таблицы.

Перед изучением процесса транскрипции целесообразно рассмотреть пример, позволяющий установить взаимосвязь понятий *хранение, передача, реализация информации*.

Учащимся предлагается следующее задание: вы хотите испечь пирог по старинному рецепту. Рецепт есть в книге, которая хранится в библиотеке. Но книгу на дом не выдают, ей можно пользоваться только в читальном зале. Там же можно сделать ксерокопию. Опишите действия, которые позволят вам

испечь пирог по старинному рецепту, несмотря на ограничения, установленные в библиотеке.

Правильное решение должно содержать следующие действия: прийти в библиотеку, взять книгу, найти нужную страницу, снять копию и унести ее с собой. Купить нужные продукты, дома на плите приготовить пирог.

Данный пример позволяет облегчить изучение транскрипции, так как содержит необходимые аналоги клеточных структур.

Книга – это ДНК, рецепт – ген, содержащий информацию об одном белке, ксерокопия – информационная РНК, продукты – аминокислоты, плита – рибосома, пирог – белок.

При изучении процесса транскрипции, целесообразно на примере фрагмента молекулы ДНК, содержащего 12–15 нуклеотидов, показать, как работает принцип комплементарности, в ходе которого синтезируется информационная РНК. При этом необходимо ввести понятия «смысловая и транскрибируемая» цепочки, «кодон», «матрица».

При наличии технической возможности рекомендуется продемонстрировать этот процесс с помощью анимации, динамической модели, видеофрагмента. При изучении транскрипции необходимо акцентировать внимание обучающихся на наличии в молекуле иРНК азотистого основания урацил вместо тимина, входящего в состав ДНК.

Изучение процесса трансляции осуществляется аналогично. Так как речь идет о динамическом процессе, целесообразно использовать компьютерные или магнитные динамические модели. Они позволяют наилучшим образом продемонстрировать особенности сборки полипептидной цепочки на рибосоме. В ходе демонстрации необходимо показать, как транспортные РНК доставляют аминокислоты к месту синтеза белка, пояснить, что такое антикодон, отметить, что существует более тридцати разных тРНК, что соответствует количеству кодонов с учетом вырожденности третьей позиции. Для закрепления материала может быть использован соответствующий видеофрагмент.

При изучении трансляции необходимо акцентировать внимание обучающихся на следующих ее особенностях:

– одна молекула информационной РНК обычно служит матрицей для одной белковой молекулы;

- одновременно может идти синтез нескольких полипептидных цепей, так как на иРНК может находиться несколько рибосом;
- рибосомы универсальны, т. е. на них могут собираться любые полипептидные цепи;
- процесс синтеза белка регулируется ферментами;
- источником энергии для биосинтеза служит АТФ.

Для наилучшего понимания взаимосвязи процессов транскрипции и трансляции и демонстрации их матричного характера целесообразно сделать схематический рисунок, иллюстрирующий данные процессы.

Для закрепления материала о роли различных органических веществ и органоидов клетки в биосинтезе белка рекомендуется составить соответствующую таблицу (табл. 20).

*Таблица 20*

#### **Участники биосинтеза белка и их функции**

<b>Участник биосинтеза белка</b>	<b>Функция</b>

Матричный характер процессов биосинтеза может быть также показан в ходе решения задач на синтез белка.

В качестве домашнего задания обучающимся может быть предложено подготовить сообщения об ученых, занимавшихся расшифровкой генетического кода, о проекте «Геном человека» и вкладе российских ученых в его реализацию.

#### **Методические рекомендации по теме «Жизненный цикл клетки»**

На изучение темы «Жизненный цикл клетки» в Программе отводится 6 часов учебного времени. Она включает следующие уроки: «Жизненный цикл клетки», «Матричный синтез ДНК. Хромосомы», «Деление клетки – митоз», «Регуляция жизненного цикла клетки».

**Методы и методические приемы обучения.** При изучении данной темы предлагается проводить лекции с элементами беседы и демонстрацией изобразительной и натуральной наглядности. Также планируется постановка демонстрационных опытов, лабораторных работ; самостоятельная работа обучающихся с учебником и учебным пособием; решение биологических задач.

**Методические рекомендации по организации образовательного процесса.** Первый урок по теме «Жизненный цикл клетки» проводится в виде проблемной беседы. Необходимо актуализировать знания о процессах, протекающих в клетке; о значении энергетического и пластического обменов; о веществах, синтезируемых в клетке; о том, как клетка обеспечивается энергией. Урок по изучению репликации ДНК проводится в виде лекции с элементами разъясняющей беседы о редупликации ДНК, клеточном цикле, стадиях митоза с демонстрацией изобразительной и натуральной наглядности (микропрепаратов средствами мультимедийной проекции). Более подробная информация для учителя по теме представлена в Приложении 10.

### **Методические рекомендации по теме «Селекция организмов»**

На изучение темы «Селекция организмов» в Программе отводится 4 часа учебного времени. Она включает уроки по темам: «Основные понятия селекции», «Методы селекционной работы. Сохранение, изучение и использование генетических ресурсов».

**Методы и методические приемы обучения.** При изучении данной темы предлагается проводить лекции с элементами эвристической беседы и демонстрацией изобразительной и натуральной наглядности. Также планируются постановка демонстрационных опытов, лабораторных работ; самостоятельная работа обучающихся с учебником и учебным пособием; решение биологических задач.

**Методические рекомендации по организации образовательного процесса.** На уроках при изучении темы можно использовать метод проблемной беседы, провести семинары смешанного типа на основе докладов, а также конференцию по современным проблемам селекции организмов.

Для проведения семинара целесообразно предложить обучающимся проблемные вопросы для обсуждения:

1. Как законы генетики реализуются при выведении сортов культурных растений и пород домашних животных?
2. Какое практическое значение имеет закон гомологических рядов наследственной изменчивости Н. И. Вавилова в селекции организмов?
3. Каковы перспективы развития селекции растений и животных?

Первые уроки необходимо построить в виде беседы, так как часть материала обучающимся уже известна из систематических разделов курса биологии. Важно на этом этапе сформировать понятия *сорт*, *порода*, *штамм* (как искусственно созданная популяция организмов одного вида). Обучающиеся часто идентифицируют понятия «вид» и «порода», «сорт», считая, что сорта и породы организмов – это искусственно выведенные виды. Правильно сформированные представления об искусственных популяциях в дальнейшем помогут понять и усвоить закономерности эволюционного процесса.

При изучении материала о центрах многообразия и происхождения культурных растений и домашних животных обучающимся предлагается подготовить доклады с последующим обсуждением на уроке. Этот материал интересен и вполне доступен для самостоятельного изучения. Рассмотреть методы селекции растений и животных лучше всего на семинарских занятиях с обсуждением ключевых проблемных вопросов. Обучающимся можно предложить найти в Интернете информацию о различных породах животных и сортах растений и подготовить сообщения о методах их выведения. На этом уроке следует обсудить и значение закона гомологических рядов наследственной изменчивости Н. И. Вавилова в селекции организмов. После изучения всей темы рекомендуется провести экскурсию на любой из объектов, где можно познакомиться с практической селекцией (в биологический музей, на селекционную станцию, племенную ферму, сортоиспытательный участок или в тепличное хозяйство). После экскурсии проводится заключительная обобщающая конференция.

При изучении темы проводится *лабораторная работа «Изучение методов селекции растений»* (Приложение 7).

*Методические рекомендации.* Перед началом лабораторной работы необходимо познакомить обучающихся с предметом и задачами современной селекции, историей возникновения селекции как науки и отрасли производства. Обосновывать необходимость разработки новых методов селекции, опирающихся на достижения различных биологических наук. Именно с этими методами и предстоит познакомиться обучающимся в ходе выполнения практической части работы.

Для более осознанного выполнения практической части целесообразно ознакомить обучающихся с основными понятиями, которые будут использованы в ходе работы. Работа по изучению методов селекции растений может быть проведена в двух вариантах. Первый вариант, включающий в себя *Работу № 1 «Изучение искусственного отбора»*, предполагает изучение роли искусственного отбора в селекции растений. В ходе работы обучающиеся на примерах диких и культурных форм различных растений и животных изучают изменения, которые произошли у них под влиянием наследственной изменчивости и проводимого человеком отбора. Данная работа проводится как с использованием натуральных объектов – побегов культурных и дикорастущих растений, плодов, клубней, так и с использованием изображений растений и животных, размещенных на раздаточных карточках.

Следующие лабораторные работы: *Работа № 2 «Генетическая трансформация растений»*, *Работа № 3 «Выведение новой породы»*, *Работа № 4 «Селекция XXI века: биотехнология и генная инженерия на службе человека»*, могут быть выполнены в форме виртуальной лабораторной работы. Сценарии проведения данных работ размещены на сайте «Единое содержание общего образования» (<https://edsoo.ru/>), в разделе «Виртуальные лабораторные работы».

В ходе выполнения виртуальных лабораторных работ обучающиеся в интерактивной форме получают представление об особенностях селекции растений, животных и микроорганизмов, познакомятся с основными методами селекции.

При выполнении первой части *Работы № 2 «Генетическая трансформация растений»* изучаются методы классической селекции, с помощью которых необходимо получить новый сорт яблони. Правильная схема данного процесса имеет вид, показанный на рисунке 2.

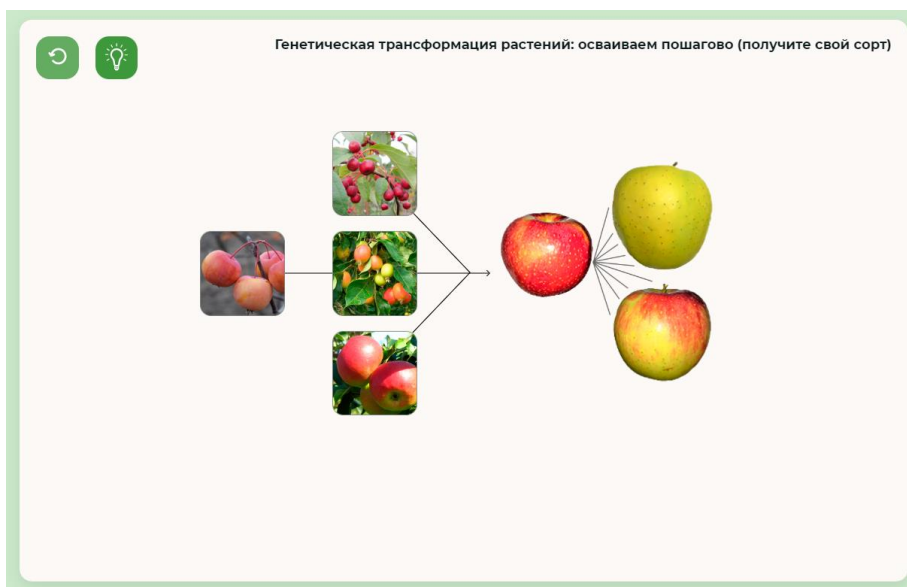


Рис. 2. Схема получения нового сорта яблони

В ходе выполнения следующего задания необходимо получить сорт картофеля, устойчивый к воздействию колорадского жука. Это процесс осуществляется методом агробактериальной трансформации. Вначале необходимо выделить нужные гены из бактерии *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) var. Для этого культуру бактерии *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) var. и ген белка GFP перемещают из панели инструментов в пустые ячейки рабочей области и нажимают кнопку «Выделение гена» (рис. 3).



Рис. 3. Выделение гена

Затем осуществляют клонирование выделенного гена в организме бактерии кишечной палочки *Escherichia coli*. Для этого необходимо поместить в пустую ячейку бактерию кишечной палочки и нажать кнопку «Копирование гена» (рис. 4).



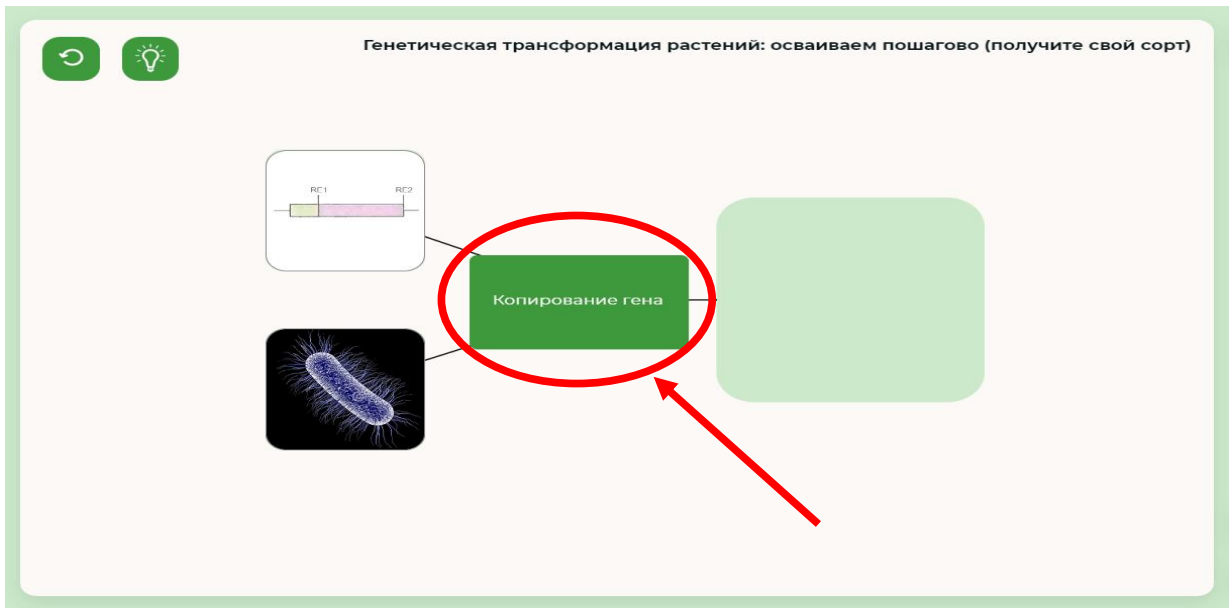


Рис. 4. Копирование гена

Далее в пустую ячейку помещается векторная плазмида, в которую встраивается полученный ген, для чего необходимо нажать кнопку «Встроить» (рис. 5).

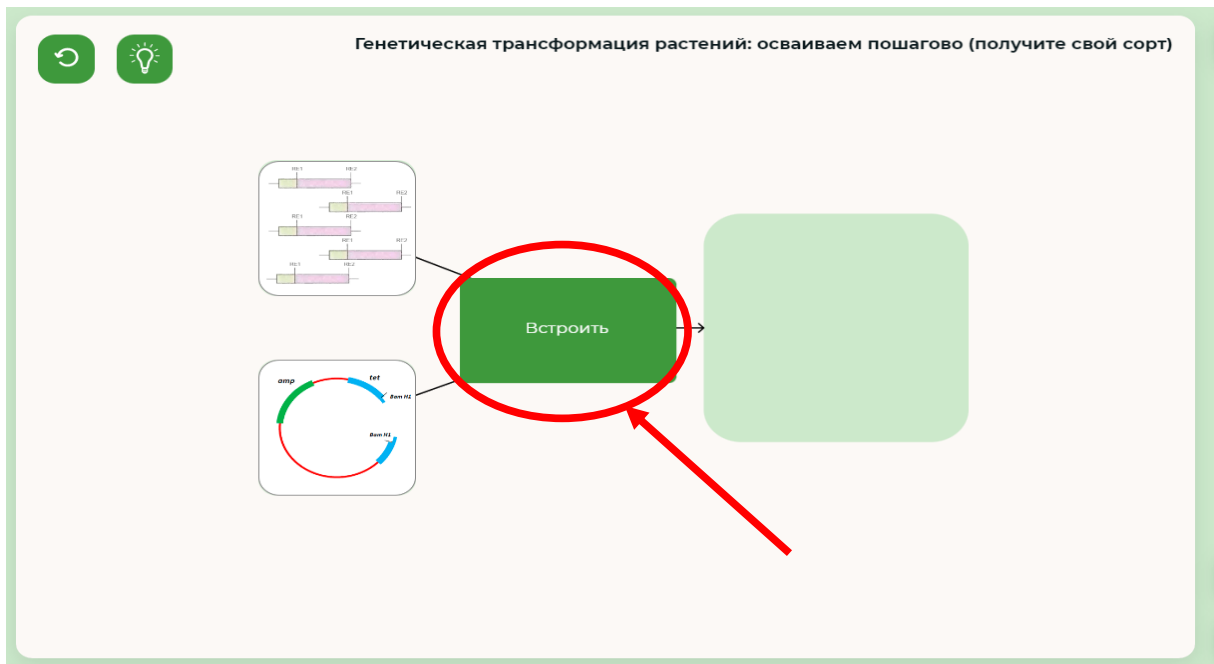


Рис. 5. Встраивание гена

После этого осуществляется перенос полученного гена в растительные клетки (биобаллистическая трансформация). Для этого полученные гены и культура растений помещаются в генную пушку (рис. 6).

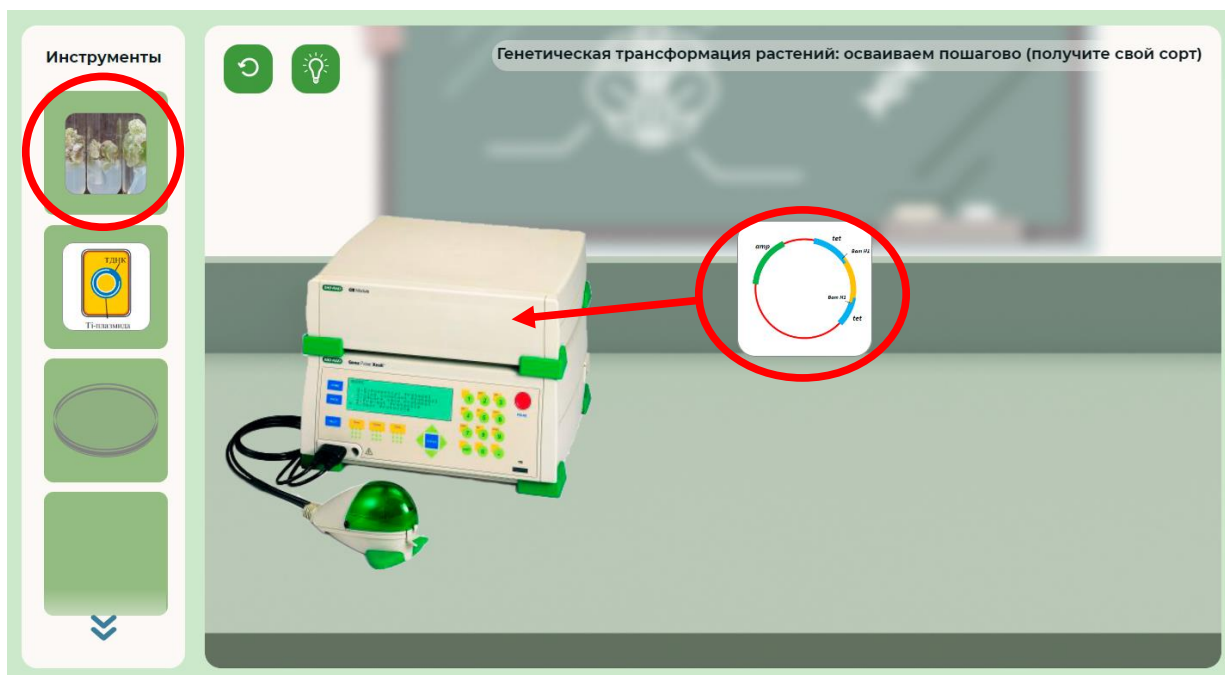


Рис. 6. Работа генной пушки

Затем осуществляется агробактериальная трансформация – перенос плазмиды в агробактерию (рис. 7).

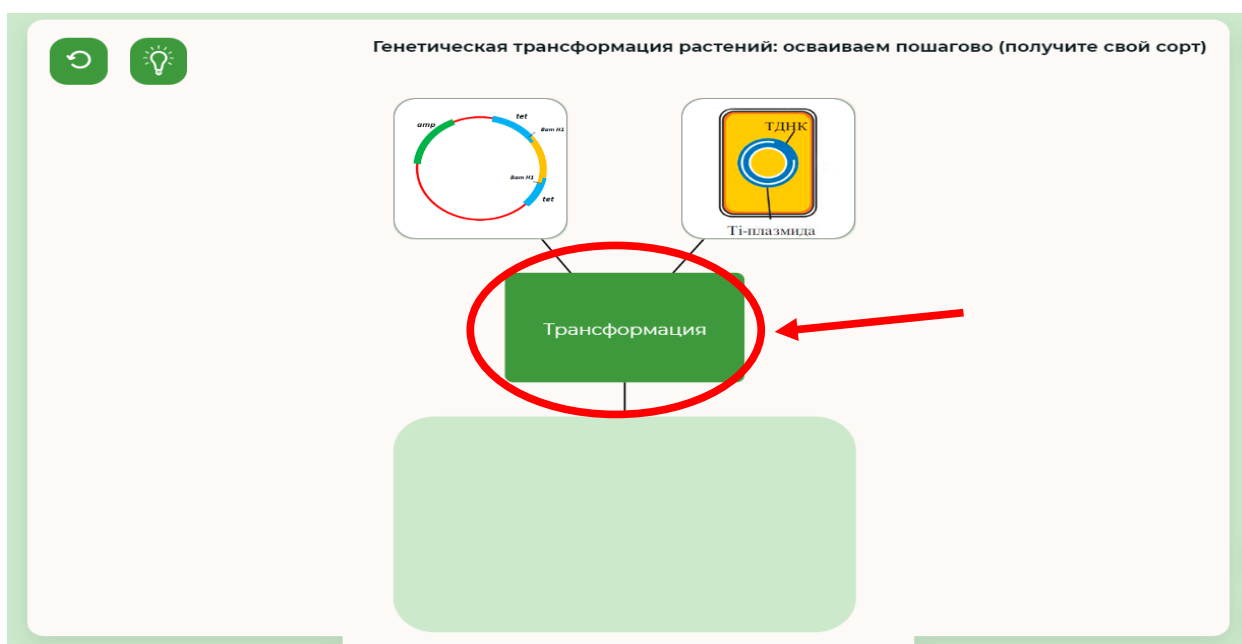
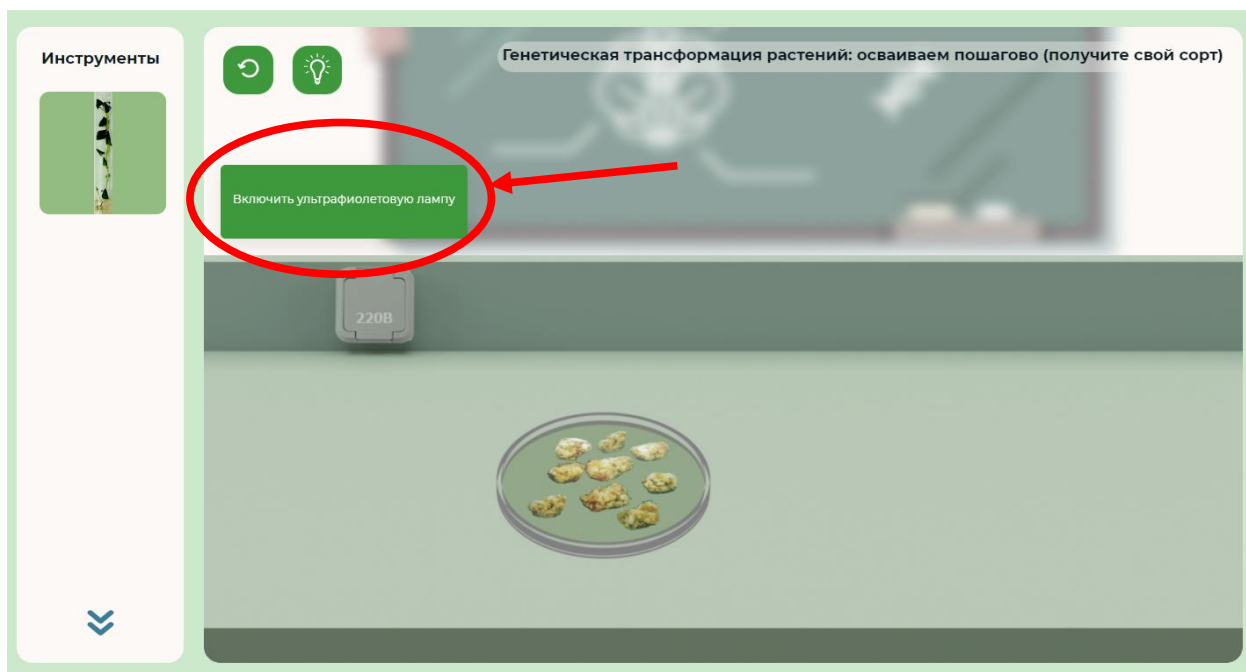


Рис. 7. Агробактериальная трансформация

Далее получают каллусную культуру картофеля. Для того чтобы убедиться в успешности проведенной трансформации с помощью гена белка GFP включают ультрафиолетовую лампу. Ген белка GFP выделен из морской медузы, светится в ультрафиолете и позволяет отслеживать процесс трансформации в селекции (рис. 8).



*Рис. 8.* Отслеживание процесса трансформации с помощью ультрафиолетовой лампы

Заключительным этапом является регенерация растений, в результате которой получают взрослые индивидуумы (рис. 9).



*Рис. 9.* Регенерация растений

После получения взрослых растений (рис. 10) необходимо выполнить задания в лабораторном журнале.

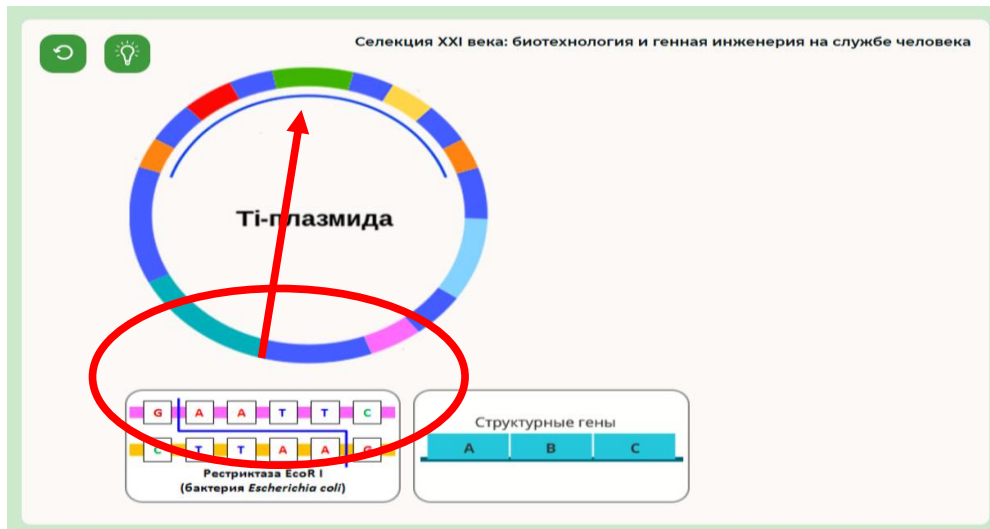


Рис. 10. Взрослые растения

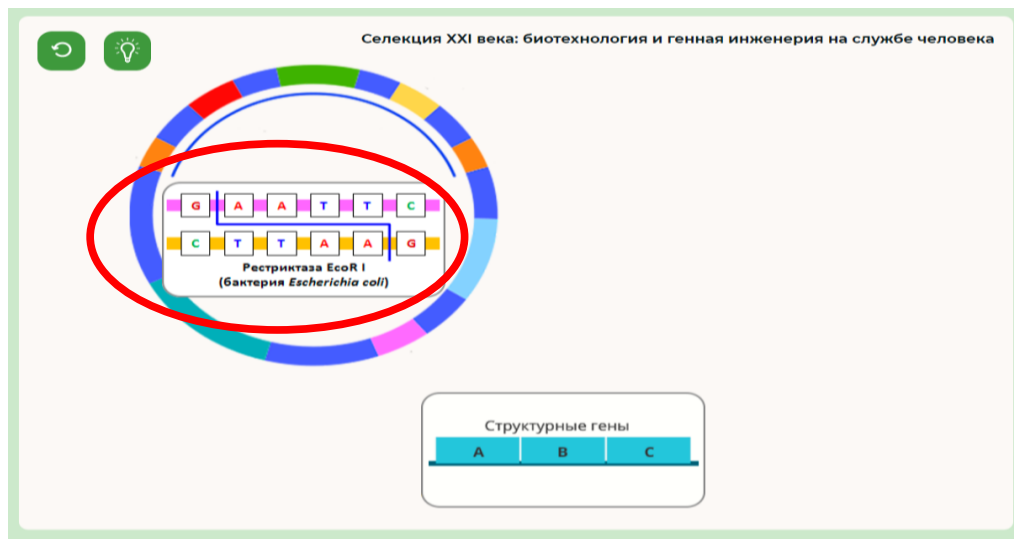
*Работа № 3 «Выведение новой породы»* знакомит обучающихся с методами классической селекции. Данную работу обучающиеся могут выполнить самостоятельно.

Задание «Подумайте, какие формы изменчивости могли служить материалом для искусственного отбора. Что можно сказать о методах скрещивания, проведенных селекционерами в прошлом?» – не предполагает автоматической проверки и должно проверяться вручную. Ключевыми словами, свидетельствующими о правильном ответе, являются следующие: мутационная изменчивость, комбинативная изменчивость, методы скрещивания – инбридинг, аутбридинг.

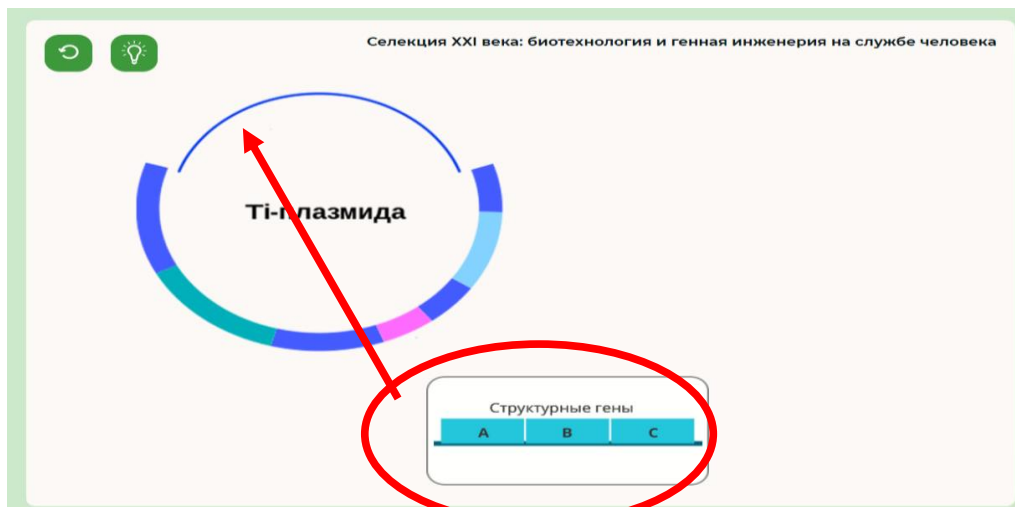
*Работа № 4 «Селекция XXI века: биотехнология и генная инженерия на службе человека»* предполагает изучение этапов работы селекционера по получению новых штаммов микроорганизмов. На рисунке 11 показана последовательность этапов работы, приводящих к достижению планируемого результата.



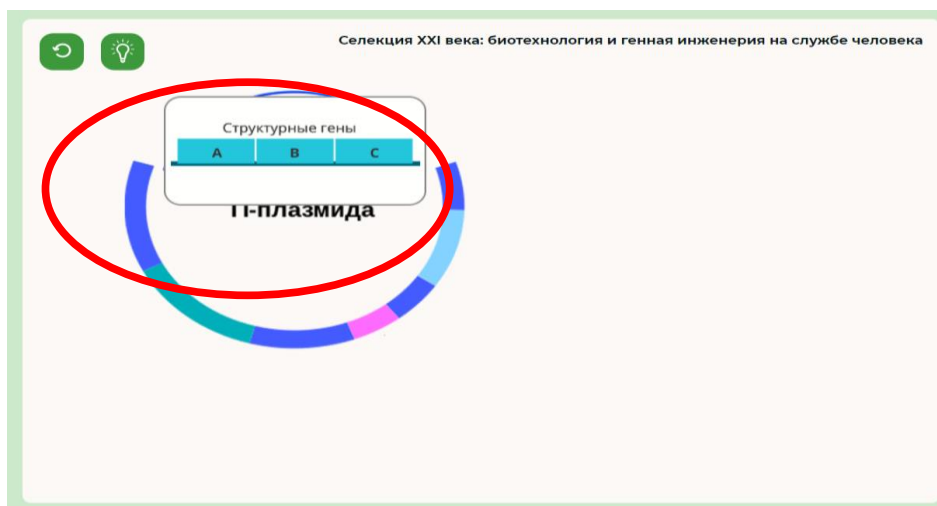
Взять рестриктазу и перенести ее внутрь Т-плазмиды



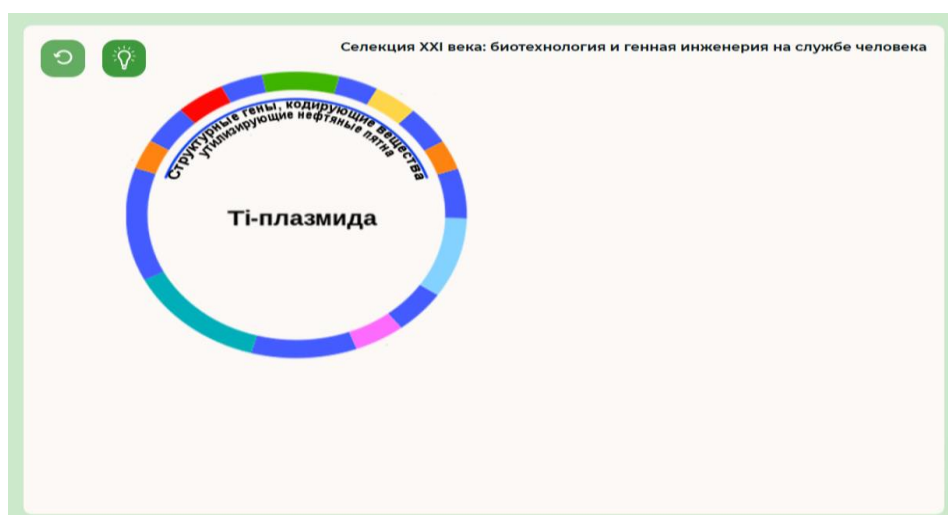
Рестриктаза вырежет определенные гены Т-плазмиды



Захватить курсором новые гены и перенести их внутрь Т-плазмиды



Новые гены встраиваются в Т-плазмиду



Т-плазмида с новыми структурными генами

Рис. 11. Этапы работы селекционера по получению новых штаммов микроорганизмов

### Методические рекомендации по теме «Биотехнология и синтетическая биология»

На изучение темы «Биотехнология и синтетическая биология» в Программе отводится 4 часа учебного времени. Она включает уроки: «Биотехнология как наука и отрасль производства», «Основные направления синтетической биологии», «Хромосомная и генная инженерия», «Медицинская биотехнология».

**Методы и методические приемы обучения.** Рекомендуется проводить проблемную беседу с демонстрацией изобразительной и натуральной наглядности. Также планируются постановка демонстрационных опытов,

лабораторных работ; самостоятельная работа обучающихся с учебником и учебным пособием; решение биологических задач.

**Методические рекомендации по организации образовательного процесса.** Изучение данной темы проводится с использованием лекционно-семинарской системы занятий. Вначале рекомендуется прочитать одну или две установочные лекции, в которых изложены основные методы современной биотехнологии. Далее проводятся семинары смешанного типа, на которых предполагается выступление обучающихся с сообщениями, их обсуждение, дискуссии по ключевым вопросам каждой темы.

При изучении темы обучающимся можно предложить выполнить *практическую работу «Получение молочнокислых продуктов»* (Приложение 8). Данная практическая работа имеет несомненную практическую значимость, однако ее проведение требует значительных временных затрат. Поэтому она может быть предложена обучающимся для самостоятельного проведения в домашних условиях. Промежуточные и окончательные результаты работы могут быть продемонстрированы учителю и одноклассникам в виде фото- или видеотчета, а также в виде готовых продуктов.

*Методические рекомендации.* При проведении работы необходимо учитывать, что закваска йогурта в стерилизованном молоке размножается в течение 5 часов при температуре +37...39 °С. Если температура будет ниже, то получится невкусный йогурт тягучей консистенции. Если температура будет выше, то сквашивания не произойдет или процесс сильно затянется. Необходимо удерживать температуру на одном уровне с помощью водяной бани, воду в которой следует постоянно подогревать.

Готовность йогурта определяется по превращению молока в однородную плотную массу, которая при наклоне банки не выливается, а вываливается крупными кусками. Приготовленный йогурт необходимо охладить. Если получился хороший однородный продукт, то часть его можно отложить в другую емкость, поставить в холодильник и в дальнейшем использовать в качестве закваски. Если консистенция продукта неоднородна, с водянистыми включениями, значит, в молоке размножились молочнокислые бактерии и образовался другой молочнокислый продукт – простокваша.

Для приготовления ряженки молоко пастеризуют при температуре +96 °С в течение 4–5 часов. Благодаря такой выдержке и температуре, молоко

приобретает кремовый цвет и специфический вкус, оно становится топленым. Закваской для ряженки служит сметана (одна столовая ложка на 0,5 л молока). Топленое молоко заквашивают при температуре +36...38 °С в течение 4–5 часов. Готовую ряженку можно оставить при комнатной температуре или поставить на хранение в холодильник.

При приготовлении творога молоко необходимо прокипятить, а затем быстро охладить его до +32...36 °С. Для этого кастрюлю с молоком нужно опустить в другую посуду с холодной водой, не допуская при этом ее попадания в молоко. Охлажденное до нужной температуры молоко заквашивают, вводя закваску тонкой струей при тщательном перемешивании. Количество закваски должно составлять около 5% от количества заквашиваемого молока. Закваской может служить простокваша или сметана, купленная в магазине.

Кастрюлю с заквашенным молоком следует накрыть крышкой и поставить на двое-трое суток в теплое место до образования сгустка. Затем нужно отделить от сгустка прозрачную зеленоватого цвета сыворотку. Для этого сито или дуршлаг следует обработать кипятком, на дно положить два слоя марли и перенести туда образовавшийся сгусток. Когда отделение сыворотки прекратится, творожную массу следует отжать. Для этого на творог в марле ставят чистую, обработанную кипятком тарелку, а на нее небольшой груз, например банку с водой. Спрессованный творог помещают в холодное место.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### *Нормативная база*

1. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 мая 2012 г. № 413 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего общего образования» (Зарегистрирован Минюстом России 7 июня 2012 г. № 24480).

2. Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 18.05.2023 № 371 «Об утверждении федеральной образовательной программы среднего общего образования» (Зарегистрирован Минюстом России 12.07.2023 № 74228).

3. Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 12.08.2022 № 732 «О внесении изменений в федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 мая 2012 г. № 413» (Зарегистрирован Минюстом России 12.09.2022 № 70034).

4. Концепция преподавания учебного предмета «Биология» в общеобразовательных организациях Российской Федерации, реализующих основные образовательные программы (одобрена решением Федерального учебно-методического объединения по общему образованию, протокол от 29.04.2022 № 2/22).

### *Литература на русском языке*

5. Биология: в 3 т. / Д. Тейлор, Н. Грин, У. Стаут ; под ред. Р. Сопера. – М.: Лаборатория знаний, 2022.

6. *Блохин Д. Ю.* Как убить бессмертную клетку // Химия и жизнь. – № 3. – 2009.

7. *Верзилин Н. М., Корсунская В. М.* Общая методика преподавания биологии. – М.: Просвещение, 1972.

8. Молекулярная биология клетки: в 3 т. / Б. Альбертс и др. – М.; Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2013.

9. Обнаружен живой представитель асгардархей // Элементы. – URL: [https://elementy.ru/novosti\\_nauki/433521](https://elementy.ru/novosti_nauki/433521) (дата обращения: 23.06.2023).

10. *Образцова А.* Биологи описали интерактом клеточного ядра // N+1. – URL: <https://nplus1.ru/news/2016/04/04/interactome> (дата обращения: 23.06.2023).

11. Общая методика обучения биологии в школе / Т. В. Иванова, Е. Т. Бровкина, Г. С. Калинова и др.; под ред. Т. В. Ивановой. – М.: Дрофа, 2010. – 271 с. – (Российская академия образования – учителю).
12. Организовать геном: запутанная история гипотез и экспериментов // Биомолекула. – URL: <https://biomolecula.ru/articles/organizovat-genom-zaputannaia-istoriia-gipotez-i-eksperimentov> (дата обращения: 23.06.2023).
13. Паршутина Л. А. Естествознание. Биология: метод. рекомендации: учеб. пособие для учреждений сред. проф. образования / Л. А. Паршутина. – М.: Академия, 2023. – 208 с.
14. Полат Е. С. и др. Новые педагогические и информационные технологии в системе образования. – М.: Академия, 2001. – 272 с.
15. Преподавание физики, развивающее ученика: пособие для учителей и методистов: в 7 кн. / сост. и под ред. Э. М. Браверман. – М.: АПК и ПФО, 2008. – Кн. 4. – Ч. 1. – С. 14.
16. Теремов А. В. Биология. Биологические системы и процессы. 10 класс: пособие для самостоятельной работы обучающихся (углубленный уровень) / А. В. Теремов, Р. А. Петросова. – М.: Мнемозина, 2015. – 343 с.
17. Теремов А. В. Биология. Биологические системы и процессы. 10–11 классы (углубленный уровень): метод. пособие для учителя / А. В. Теремов, Р. А. Петросова. – М.: Мнемозина, 2015. – 168 с.

#### ***Источники на иностранном языке***

18. Atlas of plant and animal histology. Dpt. of Functional Biology and Health Sciences. Faculty of Biology. University of Vigo. – Spain. – URL: <https://mmegias.webs.uvigo.es/02-english/index.html> (access date: 23.06.2023).
19. Difference between nucleolus and nucleus // Pediaa portal. – URL: <https://pediaa.com/difference-between-nucleolus-and-nucleus/> (access date: 23.06.2023).
20. Genetic linkage and recombination // Schoolwork helper portal. – URL: <https://schoolworkhelper.net/genetic-linkage-and-recombination/> (access date: 23.06.2023).
21. Hübschmann D. et al. Quantitative approaches to nuclear architecture analysis and modelling // Advances in Nuclear Architecture. – 2011. – P. 87–129.
22. Ou H. D. et al. ChromEMT: Visualizing 3D chromatin structure and compaction in interphase and mitotic cells // Science. – 2017. – Vol. 357. – No. 6349.

23. What is the genome made of? // The Open University. – URL: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/biology/what-the-genome-made-of> (access date: 23.06.2023).

24. Wood W. *et al.* Mesenchymal cells engulf and clear apoptotic footplate cells in macrophageless PU.1 null mouse embryos // *Development*. – 2000. – Vol. 127. – No. 24. – P. 5245–5252.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1. Лабораторная работа

#### «Разделение пигментов листа методом хроматографии»

*Цель:* научиться разделять вещества методом хроматографии. Выявить особенности строения молекул, способствующие разделению веществ.

*Оборудование и материалы:* пробирки, пипетка Пастера или автоматическая пипетка, фарфоровая ступка с пестиком, химические стаканы на 100 мл, стеклянная палочка, зажим канцелярский, ножницы, фильтровальная бумага, штатив с кольцом, воронка, стеклянный песок; свежие зеленые листья, 85%-й водный раствор ацетона, мел.

*Ход работы:*

1. В фарфоровой ступке мешайте и перетрите образцы листьев, мел и стеклянный песок.

2. К полученной смеси небольшими порциями добавьте 10 мл ацетона, непрерывно растирая содержимое ступки.

3. Когда в ступке образуется однородная масса, отфильтруйте ее через бумажный фильтр в химический стакан.

4. В отфильтрованный ацетоновый экстракт из листьев опустите на 2–3 мм полосу фильтровальной бумаги, укрепленную при помощи зажима на стеклянной палочке. Полоска бумаги не должна касаться стенок стакана.

5. Спустя 20–30 мин наблюдайте зональное разделение разноокрашенных растительных пигментов на полосе фильтровальной бумаги.

Сделайте вывод по проведенному опыту: о разделении пигментов на бумаге свидетельствуют ... . Разделение пигментов происходит за счет разницы в их ... . Данный опыт является примером метода ... . (*Ответ: «О разделении пигментов на бумаге свидетельствуют окрашенные полосы. Разделение пигментов происходит за счет разницы в их гидрофобности (гидрофильности). Данный опыт является примером метода хроматографии.»*.)

## Приложение 2. Лабораторная работа «Обнаружение белков с помощью качественных реакций»

*Цель:* научиться обнаруживать белки в биологических объектах путем проведения качественных реакций. Выявить причины, вызывающие денатурацию белков.

*Оборудование и материалы:* водяная баня, штатив с пробирками, автоматическая пипетка для добавок, держатель для пробирок, химический стакан с яичным белком, круглодонная колба для водяной бани, емкость с водой для водяной бани, горелка для водяной бани, подставка для горелки; 1%-й раствор уксусной кислоты, 10%-й раствор уксусной кислоты, 10%-й раствор NaOH, 0,1%-й раствор нингидрина, 2%-й раствор CuSO<sub>4</sub>.

### *Работа № 1. Денатурация белков при нагревании*

1. Соберите водяную баню для нагревания растворов.
2. В четыре пробирки налейте по 1–2 мл раствора яичного белка.
3. Белок в первой пробирке нагрейте на водяной бане до кипения.
4. Проанализируйте получившийся результат (примечание: происходит термическая денатурация белка и раствор мутнеет).

Сделайте вывод по проведенному опыту: денатурация белка ..., о чем свидетельствует ... . Данный опыт является примером ... денатурации белка. (*Ответ:* «Денатурация белка произошла, о чем свидетельствует помутнение раствора. Данный опыт является примером термической денатурации белка».)

5. К раствору белка во второй пробирке добавьте одну каплю 1%-го раствора уксусной кислоты.

6. Нагрейте раствор до кипения.

7. Проанализируйте получившийся результат. (Примечание: осадок белка выпадает быстро, поскольку заряд мицелл нейтрализован и белок близок к изоэлектрическому состоянию.)

Сделайте вывод по проведенному опыту: денатурация белка ... . ... в слабокислой среде свидетельствует о потере частицами белка ... заряда. (*Ответ:* «Денатурация белка произошла. Выпадение осадка в слабокислой среде свидетельствует о потере частицами белка отрицательного заряда».)

8. К раствору белка в третьей пробирке добавьте 5–8 капель 10%-го раствора уксусной кислоты.

9. Нагрейте раствор до кипения.

10. Проанализируйте получившийся результат. (Примечание: осадок не образуется, так как мицеллы белка приобрели положительные заряды, что является стабилизирующим фактором и препятствует коагуляции).

Сделайте вывод по проведенному опыту: денатурация белка ... . ... в сильноокислой среде свидетельствует о приобретении частицами белка ... заряда, что является одним из факторов ... белка. (*Ответ: «Денатурация белка не произошла. Отсутствие осадка в сильноокислой среде свидетельствует о приобретении частицами белка положительного заряда, что является одним из факторов устойчивости белка».*)

11. В четвертую пробирку добавляют 5–8 капель 10%-го раствора гидроксида натрия.

12. Нагрейте до кипения.

13. Проанализируйте получившийся результат. (Примечание: осадок не выпадает, поскольку мицеллы заряжены отрицательно.)

Сделайте вывод по проведенному опыту: денатурация белка ... . ... в щелочной среде свидетельствует об увеличении у белка ... заряда, что является одним из факторов ... белка. (*Ответ: «Денатурация белка не произошла. Отсутствие осадка в щелочной среде свидетельствует об увеличении у белка отрицательного заряда, что является одним из факторов устойчивости белка».*)

Заполните таблицу (указаны верные ответы).

Характеристика среды	Нейтральная	Слабоокислая	Сильноокислая	Щелочная
Результат опыта	Раствор мутнеет	Выпадает осадок	Осадок не образуется	Осадок не образуется
Обоснование результата	Происходит термическая денатурация белка	Заряд частиц белка нейтрализован и белок близок к изоэлектрическому (электро-нулевому) состоянию	Частицы белка приобрели положительные заряды	Белок заряжен отрицательно

## Работа № 2. Биуретовая реакция

1. В пробирку налейте 1–2 мл раствора яичного белка.
2. В пробирку добавьте равный объем 10%-го раствора гидроксида натрия.
3. Раствор перемешайте и добавьте по 1–2 капли раствор сульфата меди(II).

4. Заполните лабораторный журнал. (*Примечание:* появляется красно-фиолетовое или сине-фиолетовое окрашивание. В щелочной среде белки, а также продукты их гидролиза – полипептиды дают фиолетовое или красно-фиолетовое окрашивание с солями меди. Реакция обусловлена наличием пептидных связей. Положительная биуретовая реакция проявляется у соединений, содержащих не менее двух пептидных групп. Интенсивность окраски зависит от длины пептида и варьирует от сине-фиолетовой до красно-фиолетовой и красной.)

Проанализируйте результаты опыта и сделайте вывод:

В ... среде белки дают ... окрашивание с солями ... . Реакция обусловлена наличием ... связей. (*Ответ:* «В щелочной среде белки дают сине-фиолетовое окрашивание с солями меди. Реакция обусловлена наличием пептидных связей».)

## Работа №3. Ксантопротеиновая реакция и нингидриновая реакция

(Данную работу необходимо выполнять, соблюдая особую осторожность!)

### Часть 1. Ксантопротеиновая реакция

1. В пробирку налейте 2–3 мл раствора белка
2. Добавьте 0,5–1 мл (2–3 капли) концентрированной азотной кислоты.
3. Смесь осторожно нагрейте.
4. Проанализируйте получившийся результат.
5. Заполните лабораторный журнал (таблицу). (*Примечание:* выпадает осадок желтого цвета.)

Название реакции	Реактивы	Наблюдаемая окраска	Чем обусловлена реакция
Ксантопротеиновая реакция	$\text{HNO}_3$ (конц.)	Желтая	Нитрованием ароматических колец

## Часть 2. Нингидриновая реакция

1. В пробирку налейте 1–2 мл раствора яичного белка.
2. Добавьте 0,1%-го спиртовой раствор нингидрина.
3. Нагревайте около минуты над горелкой.
4. Проанализируйте получившийся результат.
5. Заполните лабораторный журнал (таблицу). (*Примечание:* раствор белка в пробирке приобретает красно-фиолетовую окраску.)

<b>Название реакции</b>	<b>Реактивы</b>	<b>Наблюдаемая окраска</b>	<b>Чем обусловлена реакция</b>
Нингидриновая реакция	$C_9H_6O_4$ (нингидрин)	Красно-фиолетовая	Взаимодействием альфа-аминокислот с нингидрином



**Приложение 3. Лабораторная работа**  
**«Исследование нуклеиновых кислот, выделенных из клеток**  
**различных организмов»**

*Цель работы:* познакомиться с методикой выделения геномной ДНК из растительных источников, наблюдать свойства молекул ДНК, выделенных из клеток различных организмов.

*Оборудование и материалы:* ступка с пестиком, палочка стеклянная, пипетки Пастера (или пипетки автоматические с наконечниками), шпатель, штатив с пробирками, зажим для пробирок, воронка, марля, палочка деревянная, стакан химический, баня водяная, электроплитка; раствор для лизиса, образцы плодов, панкреатин, свежий сок ананаса, этиловый (или изопропиловый спирт), 0,4%-й раствор гидроксида натрия, дифениламин.

*Ход работы:*

1. Приготовьте раствор для лизиса. Для приготовления раствора надо смешать 1 мл средства для мытья посуды, 0,1 г поваренной соли и 9 мл дистиллированной воды. Желательно охладить раствор в морозильнике или на льду.

2. С помощью шпателя отделите образец плода. Перетрите образец плода в ступке пестиком.

3. Добавьте в ступку 1000 мкл буферного раствора для лизиса и перемешивайте в течение 2–5 мин.

4. Профильтруйте суспензию через 3–4 слоя марли (или капроновый чулок).

5. Выдержите еще 5–7 мин для дальнейшего разложения белка. Для лучшего выделения можно добавить панкреатин из аптечного препарата и/или свежий сок ананаса.

6. Переместите суспензию в пробирку с помощью пипетки Пастера (или автоматической пипетки с обрезанным носиком наконечника).

7. Добавьте на поверхность раствора с помощью пипетки Пастера (или автоматической пипетки) равный объем охлажденного спирта.

8. Наблюдайте в течение 1–2 мин образование образования вязкого слоя ДНК на границе слоев спирта и воды.

9. Аккуратно извлеките часть ДНК с границы между спиртом и водой вращением деревянной палочки. Рассмотрите поверхность палочки.

10. Перенесите ДНК в чистую пробирку.
11. Прилейте в пробирку 1 мл 0,4%-го раствора гидроксида натрия.
12. Пипеткой добавьте в пробирку 0,5 мл дифениламина, закрепите пробирку в держателе и поместите ее на водяную баню на 15 мин.
13. Извлеките пробирку. Оцените окраску раствора.
14. Опишите свои наблюдения в ходе опыта.

### *Контрольные вопросы и задания*

Выберите один правильный ответ.

1. Качественной реакцией на ДНК является реакция:
  - 1) с гидроксидом натрия
  - 2) с дифениламином
  - 3) с красной кровяной солью
  - 4) с перманганатом калия

(Ответ: 2.)

Восстановите правильную последовательность действий.

2. При извлечении ДНК из растительных тканей:
  - 1) обработка гомогената средством для мытья посуды, содержащим лаурилсульфат натрия
  - 2) отфильтровывание смеси
  - 3) добавление этилового спирта
  - 4) получение гомогената клеток растительной ткани

(Ответ: 4123.)

Дайте развернутый ответ на вопросы.

1. Зачем в раствор для лизиса надо добавлять средство для мытья посуды?

(Ответ: для разрушения мембран клеток и извлечения в раствор молекул ДНК.)

2. Зачем в раствор для лизиса надо добавлять соль?

(Ответ: для создания изотонического раствора в среде для проведения лизиса клеток.)

3. Зачем желательно добавлять панкреатин?

(Ответ: панкреатин содержит протеазы и липазы, их действие способствует деградации жиров и белков, что в свою очередь способствует высвобождению ДНК.)

4. Зачем желательно добавлять свежий сок ананаса?

(*Ответ:* сок ананаса содержит протеазы, их действие способствует деградации белков, что в свою очередь способствует высвобождению ДНК.)

5. Зачем фильтровать суспензию после лизиса?

(*Ответ:* для удаления остатков клеточных стенок и белковых агрегатов.)

6. Зачем добавлять спирт к суспензии?

(*Ответ:* для извлечения ДНК, которая нерастворима в спирте.)

## **Приложение 4. Лабораторная работа** **«Плазмолиз и деплазмолиз в растительных клетках»**

*Цель работы:* пронаблюдать за плазмолизом и деплазмолизом в растительных клетках; убедиться в избирательной проницаемости плазматической мембраны.

*Оборудование и материалы:* микроскоп, предметные и покровные стекла, препаровальная игла, пинцет, стакан с водой, полоски фильтровальной бумаги; 5%-й раствор поваренной соли, раствор I<sub>2</sub> в KI (или I<sub>2</sub> в спирте), 96%-й этиловый спирт, красный или фиолетовый репчатый лук, срезы фиолетовых листьев традесканции зебroidной, листья элодеи.

*Порядок выполнения работы:*

1. Приготовьте микропрепарат кожицы чешуи лука. Поместите в каплю воды на предметное стекло кусочек кожицы и накройте покровным стеклом. Чтобы удалить пузырьки воздуха, слегка прижмите покровное стекло иглой.

2. Проведите окрашивание препарата раствором иода, если это необходимо. Для этого с одной стороны покровного стекла нанесите каплю раствора иода, а с другой стороны оттяните жидкость фильтровальной бумагой. Рассмотрите препарат при малом увеличении микроскопа. Зарисуйте несколько клеток, обозначив цитоплазму, оболочку, ядро.

3. С одной стороны покровного стекла нанесите несколько капель раствора поваренной соли. С другой стороны, полоской фильтровальной бумаги оттяните излишек жидкости. Наблюдайте под микроскопом за изменением положения цитоплазмы. Зарисуйте объект. Стрелкой покажите отставание цитоплазмы от оболочки клетки. Объясните, почему произошел плазмолиз.

4. На микропрепарат нанесите несколько капель воды и вновь с противоположной стороны оттяните избыток жидкости полоской фильтровальной бумаги. Не забывайте каждый раз брать чистую бумагу. Наблюдайте под микроскопом изменение цитоплазмы. Зарисуйте объект. Сделайте вывод о наблюдаемом явлении деплазмолиза в клетках.

5. Приготовьте микропрепарат листа элодеи. Рассмотрите объект под микроскопом. Проведите аналогичный опыт (см. описание, данное в пп. 2, 3). Зарисуйте объекты и обозначьте увиденное. У элодеи плазмолиз определяется по смещению хлоропластов.

6. Сделайте вывод. Отметьте, какое значение имеет плазмолиз и деплазмолиз в жизни растений. С чем связано явление плазмолиза? Что могло бы произойти, если бы клетки остались в растворе соли длительное время?

7. Снимите покровное стекло с препарата кожицы лука и капните на объект 2–3 капли спирта. Рассмотрите препарат под микроскопом, отметьте изменение окраски объекта. Нанесите теперь каплю раствора поваренной соли. Наблюдается ли плазмолиз в этом случае? Объясните, что произошло с клетками. Сделайте вывод.

### *Контрольные вопросы*

1. Что такое плазмолиз?
2. Что такое деплазмолиз?
3. О каких свойствах мембраны можно говорить, изучая плазмолиз?
4. Способны ли плазмолизироваться мертвые клетки? Как это доказать?
5. Почему мертвые клетки теряют способность к плазмолизу?
6. Почему при больших кровопотерях человеку переливают физиологический раствор (0,9%-й раствор NaCl)? Что произойдет, если клетки крови поместить: а) в 0,09%-й раствор NaCl; б) в 9%-й раствор NaCl?
7. Почему после острой и соленой пищи хочется пить?
8. Почему употребление острой и соленой пищи приводит к гипертонии?
9. Почему у пресноводных одноклеточных животных развиты сократительные вакуоли, а у морских, как правило, отсутствуют?
10. Почему в клетках пресноводных многоклеточных животных нет сократительных вакуолей?

## **Приложение 5. Лабораторная работа «Изучение каталитической активности ферментов (на примере амилазы или каталазы)»**

*Цель:* исследовать каталитическую активность белков-ферментов в клетках и ее зависимость от условий среды; показать высокую специфичность белков-ферментов.

*Оборудование и материалы:* пробирки, держатель для пробирок, подставка для пробирок, водяная баня (термостат), пипетка, градуированная на 1 мл; раствор слюны, вода, 1%-й раствор крахмала, раствор иода, 5%-й раствор гидроксида натрия, 5%-й раствор сульфата меди.

### *Работа № 1 «Ферментативный гидролиз крахмала амилазой слюны»*

#### *Ход работы*

#### *Задание 1. Гидролиз крахмала*

1. В две пробирки налейте по 2 см<sup>3</sup> 1%-го раствора крахмала.
2. В пробирку № 1 долейте 1 см<sup>3</sup> разведенной слюны, а в пробирку № 2 – 1 см<sup>3</sup> воды (для контроля) и поставьте пробирки на 10 мин на водяную баню или в термостат, нагретые до 37–38 °С (внимательно следите за температурой, не допуская ее повышения).

3. По окончании реакции сравните и объясните окраску полученных растворов и сделайте вывод: окраска раствора в пробирке № 1: ... ; в пробирке № 2 – ... . (*Ответ:* бесцветная; бесцветная.) Следовательно, ... .

#### *Задание 2. Обнаружение крахмала*

1. Из опытной (№ 1) и контрольной (№ 2) пробирок из задания 1 отлейте в пробирки № 3 и 4 по 1 см<sup>3</sup> растворов.
2. Добавьте в каждую пробирку по одной капле раствора иода и перемешайте.
3. Сравните окраску полученных растворов.
4. Сделайте вывод: окраска раствора в пробирке № 3: ...; в пробирке № 4 – ... . (*Ответ:* коричневая; синяя.) Следовательно: ... .

#### *Задание 3. Обнаружение мальтозы*

1. К оставшимся растворам опытной (№ 1) и контрольной (№ 2) пробирок добавьте по одной капле раствора сульфата меди и по пять капель раствора щелочи.

2. Выполните задание и сделайте вывод: окраска раствора в пробирке № 1 – ...; цвет осадка в пробирке № 2 – ... . (*Ответ:* интенсивно-синяя; голубой.) Следовательно: ... .

3. Содержимое пробирок перемешайте и поместите их в кипящую водяную баню.

4. Сравните окраску полученных растворов.

5. Сделайте вывод: окраска осадка в пробирке № 1 – ...; в пробирке № 2 – ... . (*Ответ:* оранжевая; черная.) Следовательно: ... .

### *Работа № 2 «Специфичность действия ферментов»*

*Оборудование и материалы:* пробирки, держатель для пробирок, подставка для пробирок, водяная баня (термостат), пипетка; раствор слюны, раствор сахаразы (фермент), 1%-й раствор крахмала, 2%-й раствор сахарозы, раствор иода, 10%-й раствор гидроксида натрия, 5%-й раствор сульфата меди.

*Ход работы:*

1. В пробирки № 1 и 2 налейте по 10 капель 1%-го раствора крахмала.

2. В пробирки № 3 и 4 налейте по 10 капель 2%-го раствора сахарозы.

3. Затем в пробирки № 1 и 3 добавьте по 4 капли слюны, разведенной в 5 раз.

4. В пробирки № 2 и 4 налейте по 4 капли раствора сахаразы (фермент).

5. Перемешайте и поместите все пробирки на водяную баню при температуре 37 °С на 15 минут.

6. Разделите содержимое всех пробирок пополам, дополнительные пробирки пронумеруйте так: 1.1, 2.1, 3.1, 4.1. Проведите с содержимым пробирок № 1, 2, 3, 4 реакцию с иодом. После добавления в пробирки гидроксида натрия, проведите с содержимым пробирок № 1.1, 2.1, 3.1, 4.1 реакцию с сульфатом меди.

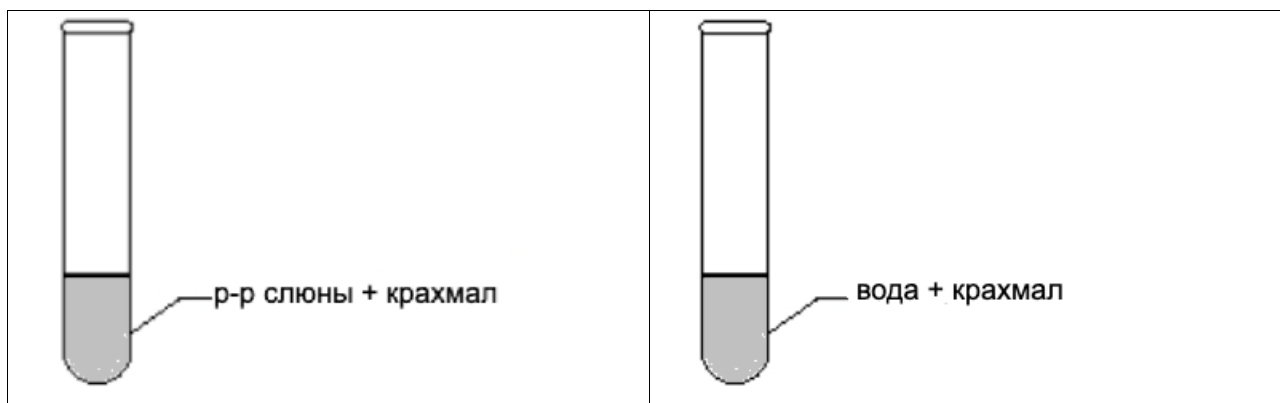
7. Результаты опыта занесите в таблицу в лабораторном журнале. Сравните и объясните окраску полученных растворов: окраска осадка в пробирке № 1 – ...; в пробирке № 2 – ...; в пробирке № 3 – ...; в пробирке № 4 – ...; в пробирке № 1.1 – ...; в пробирке № 2.1 – ...; в пробирке № 3.1 – ...; в пробирке № 4.1 – ... . (*Ответ:* коричневая; синяя; коричневая; коричневая; красная; синяя; синяя; красная.) Вывод: ... .

8. Заполните таблицу (дан верный вариант таблицы).

№ пробирки	Субстрат	Фермент	Реакция с иодом
1	Крахмал	Амилаза	–
2	Крахмал	Сахараза	+
3	Сахароза	Амилаза	–
4	Сахароза	Сахараза	–
1.1	Крахмал	Амилаза	+
2.1	Крахмал	Сахараза	–
3.1	Сахароза	Амилаза	–
4.1	Сахароза	Сахараза	+

### Контрольные вопросы и задания

1. В какой пробирке пройдет иод-крахмальная реакция, если известно, что обе пробирки находились на водяной бане при 36–37 °С в течение 10 мин?



Пробирка № 1

Пробирка № 2

- а) в пробирке № 1
- б) в пробирке № 2

(Ответ: б. Подсказка: так как в слюне содержится фермент амилаза, расщепляющий  $\alpha$ -1,4-гликозидную связь крахмала с образованием олигосахаридов, качественная реакция на крахмал в пробирке № 1 происходить не будет.)

2. Что происходит в пробирке с сульфатом меди(II) при добавлении к нему раствора щелочи?

- а) образование черного налета
- б) изменение окраски на фиолетовый

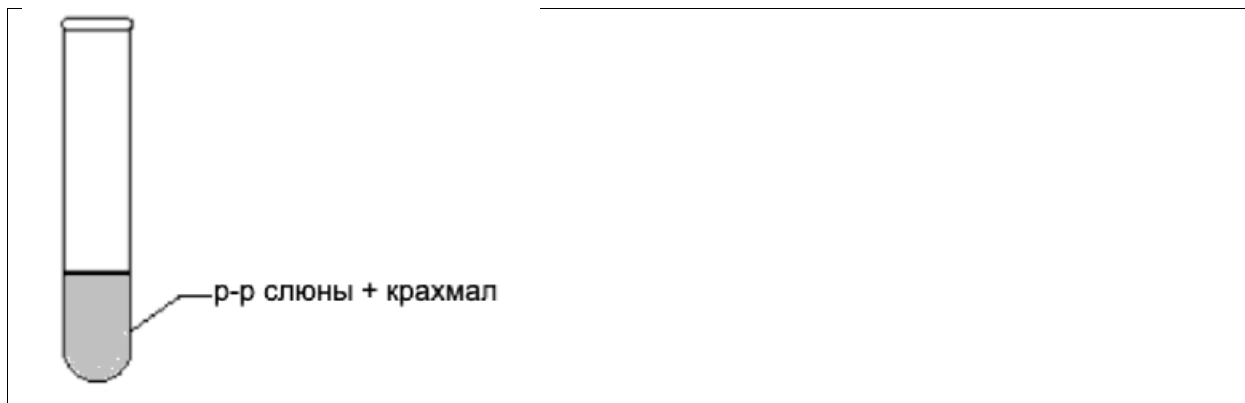


в) выпадение голубого осадка

г) видимых изменений нет

(*Ответ: в. Подсказка: в ходе реакции выпадает осадок голубого цвета  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ .*)

3. Почему после добавления в пробирку № 1 одной капли сульфата меди ( $\text{CuSO}_4$ ) и пяти капель щелочи ( $\text{NaOH}$ ) и последующего нагревания цвет раствора стал ярко-оранжевым?



*Пробирка № 1*

а) произошло окисление гидроксильных групп с образованием  $\text{Cu}_2\text{O}$

б) произошло окисление альдегидной группы с образованием  $\text{Cu}_2\text{O}$

в) произошло окисление гидроксильных групп с образованием  $\text{CuO}$

г) произошло окисление альдегидной группы с образованием  $\text{CuO}$

(*Ответ: б. Подсказка: при добавлении в пробирку № 1 сульфата меди(II) и гидроксида натрия сначала образуется гидроксид меди(II) голубого цвета, при дальнейшем нагревании пробирки № 1 происходит окисление альдегидных групп моно- и олигосахаридов гидроксидом меди(II) с образованием  $\text{Cu}_2\text{O}$ , который имеет ярко-оранжевый цвет.*)

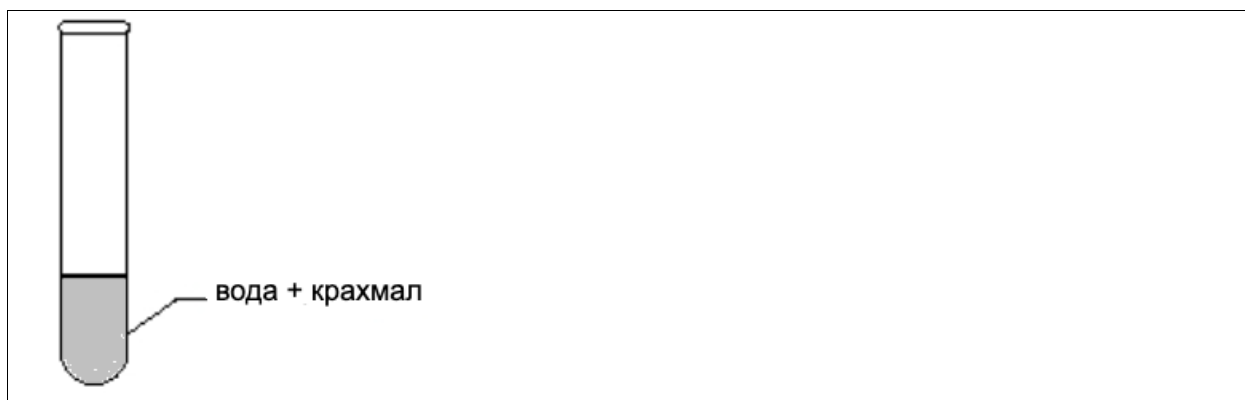
4. Что произойдет после добавления одной капли сульфата меди ( $\text{CuSO}_4$ ) и пяти капель щелочи ( $\text{NaOH}$ ) в пробирку № 2 и последующего нагревания пробирки?

а) выпадение голубого осадка

б) изменение окраски на фиолетовый

в) образование оранжевого осадка

г) образование черного налета



*Пробирка № 2*

(*Ответ:* г. *Подсказка:* при добавлении в пробирку № 2 сульфата меди ( $\text{CuSO}_4$ ) и щелочи ( $\text{NaOH}$ ) образуется синий осадок гидроксида меди(II), который при нагревании разлагается на воду и  $\text{CuO}$ . Образование черного налета свидетельствует о нахождении в пробирке  $\text{CuO}$ .)

**Приложение 6. Лабораторная работа**  
**«Изучение ферментативного расщепления пероксида водорода**  
**в растительных и животных клетках»**

*Цель работы:* установить наличие фермента каталазы в живых клетках, доказать его специфичность и активность в физиологической среде.

*Оборудование и материалы:* микроскоп, предметное и покровное стекла, скальпель, штатив с пробирками, стакан с водой, пинцет, пипетка; 3%-й раствор пероксида водорода, листья элодеи, герани, сырой и вареный картофель, кусочки сырого и вареного мяса, печени или почек животных.

*Ход работы*

1. В пробирки с кусочками сырого и вареного мяса (печени, почек), вареного и сырого картофеля капните по пять капель пероксида водорода. Какие изменения происходят в пробирках с разными объектами? Опишите наблюдаемые явления. Результаты опытов занесите в таблицу 1. Объясните, почему в пробирках с вареным картофелем и мясом отсутствуют изменения.

2. Измельчите в фарфоровой ступке несколько кусочков сырого картофеля, перенесите растертую кашу в чистую пробирку и добавьте пять капель пероксида водорода. Сравните изменения активности ферментативной реакции в целой и измельченной тканях. Результаты опытов занесите в таблицу 1. Объясните причину явления.

3. На предметное стекло в каплю воды поместите лист элодеи. Нанесите на лист две капли пероксида водорода, накройте покровным стеклом и рассмотрите под микроскопом на малом увеличении. Если выделение пузырьков газа незначительно, то снимите покровное стекло, пинцетом или иглой нарушите целостность листа. Накройте вновь покровным стеклом и рассмотрите под микроскопом на малом увеличении. Как изменилась интенсивность выделения пузырьков? Результаты опытов занесите в таблицу 1. Объясните причину наблюдаемых явлений. На чем основаны различия в опытах?

4. Поместите в пробирку измельченные листья герани. Добавьте три-четыре капли пероксида водорода. Что наблюдаете? Результаты опытов занесите в таблицу 1. Объясните наблюдаемые явления.

**Активность каталазы**

<b>Объект</b>	<b>Наблюдения</b>	<b>Объяснение результатов</b>

5. Сделайте выводы и ответьте на вопросы:

- В каких случаях проявляется максимальная активность каталазы?
- Как измельчение влияет на интенсивность реакции?
- Во всех ли клетках содержится фермент каталаза?

Ответы поясните.

## **Приложение 7. Лабораторная работа «Изучение методов селекции растений»**

*Цель:* получить представление об особенностях селекции растений, животных и микроорганизмов, познакомиться с основными методами селекции.

### *Работа № 1. Изучение искусственного отбора*

*Оборудование и материалы:* наборы раздаточных карточек с изображениями диких и культурных форм различных пород животных и сортов растений (волк – породы собак, дикая кряковая утка – породы уток, дикий кабан – породы свиней, дикий тур – породы крупного рогатого скота, дикий голубь – породы голубей и т. д.); натуральные объекты: побеги дикой яблони и сортовых яблонь, побеги дикой груши и сортовых груш, дикая фиалка и сортовые фиалки; сочетание рисунков и натуральных объектов: шиповник – розы, земляника лесная – культурные сорта, дикий картофель – сорта картофеля и т. д.

#### *Ход работы*

*Задание 1.* Рассмотрите несколько сортов (пород) одного вида культурного растения (животного), найдите черты сходства и различия между ними. Ответьте на вопросы:

а) Какие органы и признаки культурных форм обладают большим сходством?

б) Какие органы и признаки культурных форм отличаются большим разнообразием между собой?

*Задание 2.* Сравните эти сорта и породы с их диким родоначальным видом. Ответьте на вопросы:

а) Какие органы и признаки культурных форм отличаются бóльшим сходством с органами и признаками дикого вида?

б) Какие органы и признаки культурных форм отличаются бóльшим разнообразием по сравнению с диким видом?

*Задание 3.* Объясните, под влиянием каких факторов произошло изменение органов растений и животных и какова в этом роль человека.

## *Работа № 2. Генетическая трансформация растений*

### *Ход работы:*

1. Смоделируйте процесс создания нового сорта культурных растений (на примере создания нового сорта яблони).
2. Проведите эксперимент по созданию трансгенных организмов методами агробактериальной и биобаллистической трансформации (на примере создания трансгенного картофеля).
3. Проанализируйте результаты проведенной генетической трансформации.
4. Проведите сравнительный анализ изученных методов генетической трансформации.

## *Работа № 3. Выведение новой породы*

### *Ход работы:*

1. Смоделируйте этапы получения новых пород животных (на примере непарнокопытных животных).
2. Изучите основные районы одомашнивания животных (центры доместикации).

## *Работа № 4. Селекция XXI века: биотехнология и генная инженерия на службе человека*

### *Ход работы:*

1. Изучите алгоритм работы генного инженера по получению новых штаммов бактерий, утилизирующих углеводороды нефти.
2. Смоделируйте процесс создания штаммов нового поколения с использованием инструментария генного инженера (гены, ферменты, плазмиды, образцы бактерий).
3. Проведите проверку активности искусственной плазмиды нового поколения в составе бактерии.

## **Приложение 8. Практическая работа «Получение молочнокислых продуктов»**

*Цель работы:* показать условия получения молочнокислых продуктов в домашних условиях.

*Оборудование и материалы:* банка объемом 0,8 л, кастрюля объемом 3 л, марля, водяная баня, термометр, закваска йогурта, сметана.

*Ход работы*

### *Приготовление йогурта*

1. В банку объемом 0,8 л налейте стерилизованное молоко.
2. Добавьте закваску йогурта в стерилизованное молоко и оставьте на 5 часов при температуре +37...39 °С.
3. Удерживайте температуру на одном уровне с помощью водяной бани, воду в которой при необходимости подогревайте.
4. Готовность йогурта определите по превращению молока в однородную плотную массу, которая при наклоне банки не выливается, а вываливается крупными кусками.
5. Охладите полученный йогурт.

### *Приготовление ряженки*

1. Возьмите банку объемом 0,8 л для приготовления ряженки.
2. Налейте в банку молоко, предварительно пастеризованное при температуре +96 °С в течение 4–5 часов. (Примечание: молоко должно приобрести кремовый цвет и специфический вкус топленого молока).
3. Для закваски возьмите сметану (одна столовая ложка на 0,5 л молока).
4. Заквасьте топленое молоко при температуре +36...38 °С в течение 4–5 часов.
5. Готовую ряженку можно оставить при комнатной температуре или поставить на хранение в холодильник.

### *Приготовление творога*

1. Для приготовления творога возьмите кастрюлю объемом 3 л.
2. Налейте в нее молоко и прокипятите.
3. Опустите кастрюлю с молоком в другую посуду с холодной водой, не допуская при этом ее попадания в молоко, чтобы молоко охладилось до +32...36 °С.

4. Заквасьте молоко простоквашей или сметаной, вводя закваску тонкой струйкой при тщательном перемешивании. Количество закваски должно составлять около 5 % от количества заквашиваемого молока.

5. Кастрюлю с заквашенным молоком закройте крышкой и поставьте на двое-трое суток в теплое место до образования сгустка.

6. Отделите от сгустка прозрачную зеленоватого цвета сыворотку. Для этого сито или дуршлаг обработайте кипятком, на дно положите два слоя марли и перенесите туда образовавшийся сгусток.

7. Когда отделение сыворотки прекратится, творожную массу отожмите. Для этого на творог в марле поставьте чистую, обработанную кипятком тарелку, а на нее небольшой груз, например банку с водой.

8. Спрессованный творог поместите в холодное место.



## Приложение 9.

### Тема урока: «Строение и функции ядра»

*Цель урока:* сформировать знания о строении и функции ядра, о его химическом составе, роли хромосом в жизнедеятельности клеток.

*Основное содержание темы урока.* Ядро. Оболочка ядра, хроматин, кариоплазма, ядрышки, их строение и функции. Ядерный белковый матрикс. Хромосомы. Строение хромосом. Пространственное расположение хромосом в интерфазном ядре. Эухроматин и гетерохроматин. Белки хроматина – гистоны. Ядрышко, его строение и функции. Динамика ядерной оболочки в митозе. Ядерный транспорт.

#### Информация для работы

Ядро присутствует у всех эукариот и унаследовано ими от общих предков. Ядро – самая характерная органелла клетки эукариот. У всех описанных до сих пор прокариот – («доядерных») – бактерий и архей – ядро или похожие структуры отсутствуют. У всех эукариот («ядерных», или организмов с настоящим ядром) не просто есть ядро – оно сходно по тонким деталям строения. Это говорит о том, что ядро возникло однократно у общих предков всех современных эукариот.

Как возникло ядро в ходе эволюции, точно неизвестно. Одна из возможных последовательностей событий показана на рис. 1. Подробнее об этом можно прочитать на сайте «Элементы большой науки».



Рис. 1. Возможный путь появления ядра эукариот: 1–6 – стадии развития ядра из центральной части цитоплазмы предковой археи<sup>1</sup>

<sup>1</sup> [https://elementy.ru/novosti\\_nauki/433521](https://elementy.ru/novosti_nauki/433521)

## **В ядре хранится наследственная информация и происходит синтез ДНК и РНК.**

Какие же процессы происходят в ядре? Прежде всего там находится основная часть *генома* эукариот – молекулы ДНК, которые вместе с белками образуют *хромосомы*.

Кроме ядра, ДНК у эукариот содержится в митохондриях, а у автотрофных организмов – еще и в пластидах. Эти органеллы сохранили часть генома предковых бактериальных клеток, от которых они произошли в процессе симбиогенеза. Основная часть генома предков митохондрий и пластид переместилась в ядро клетки. В митохондриях и пластидах тоже происходит удвоение ДНК, синтез РНК на ДНК (транскрипция), а также синтез белка (трансляция) на рибосомах, унаследованных этими органеллами от предков-бактерий.

Там же, в ядре, происходит у эукариот и процессы копирования наследственной информации для передачи ее следующим поколениям клеток или организмов – удвоение, или *репликация ДНК*. Обычно после репликации ДНК делится ядро, а после этого – сама клетка.

Иногда ядра могут делиться и без деления клетки. Так, например, дело обстоит в ходе дробления (начального этапа эмбрионального развития) у дрозофилы и других насекомых. У дрозофилы ядра зародыша синхронно делятся 13 раз в общей массе цитоплазмы всего за 2,5 часа. И только потом зародыш разделяется на клетки.

Ядро не только хранит наследственную информацию, но и участвует в ее реализации. Часто говорят, что ядро «управляет жизнью клетки». Что же за команды и каким способом посылает ядро в остальные части клетки? В ядре происходит *транскрипция* – синтез молекул РНК на матрице ДНК. В первом приближении молекула РНК – это копия одного гена. С ДНК в ядре считываются все виды РНК – информационная, или матричная (иРНК), рибосомальная (рРНК), транспортная (тРНК). Все эти виды РНК затем выходят из ядра в цитоплазму (рРНК – в составе субъединиц рибосом).

Как вы уже знаете, рибосомальная РНК, входящая в состав рибосом, образует их каркас и соединяет аминокислоты в синтезируемых ими белках. Транспортная РНК доставляет аминокислоты к рибосомам. А матричная РНК служит матрицей, по которой строится каждый белок, т. е. она передает

генетическую информацию (информацию о последовательности аминокислот в белках) из ядра в цитоплазму, к рибосомам. Она-то и служит «командами», с помощью которых ядро управляет жизнью клетки: от набора и количества синтезируемых в ядре молекул иРНК зависит состав белков в клетке, а от состава и количества белков – работа всех ее органелл.

Из-за наличия ядра транскрипция (синтез РНК на ДНК) и трансляция (синтез белка на рибосомах) у эукариот, в отличие от прокариот, разобщены во времени и пространстве. Это расширяет возможности регуляции синтеза белков. Например, за счет альтернативного сплайсинга иРНК появляется возможность закодировать в одном гене несколько белков. Можно также присоединять к иРНК белки, которые увеличивают срок ее жизни, и запасать в неактивном виде, а потом использовать; такой механизм действует, например, в ходе эмбрионального развития.

Происходят в ядре и другие процессы. Например, в ядрышке (см. ниже) образуются субъединицы рибосом, которые затем выходят в цитоплазму. Постоянно действуют в ядре механизмы репарации ДНК – устранения возникающих в ней повреждений.

### **Ядро имеет оболочку из двух мембран и ядерной ламины.**

Ядро эукариот (рис. 2) окружено *ядерной оболочкой*. Эта оболочка включает две ядерные мембраны, имеющие то же строение, что и наружная мембрана клетки: каждая состоит из двойного слоя липидов. Пространство между ними называется *перинуклеарное пространство*. Оно обычно соединяется с полостями эндоплазматической сети (ЭПС), т. е. составляет с ЭПС единый отсек (*компартимент*) клетки.

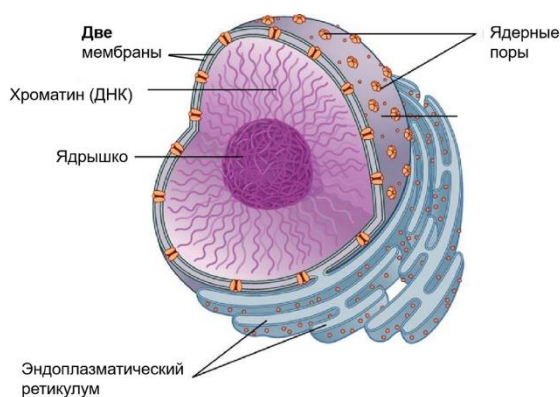


Рис. 2. Строение ядра эукариот<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <https://pediaa.com/difference-between-nucleolus-and-nucleus>

Под двумя мембранами находится **ядерная ламина** (пластинка) – плотная сеть из особых белков **ламинов** (рис. 3).

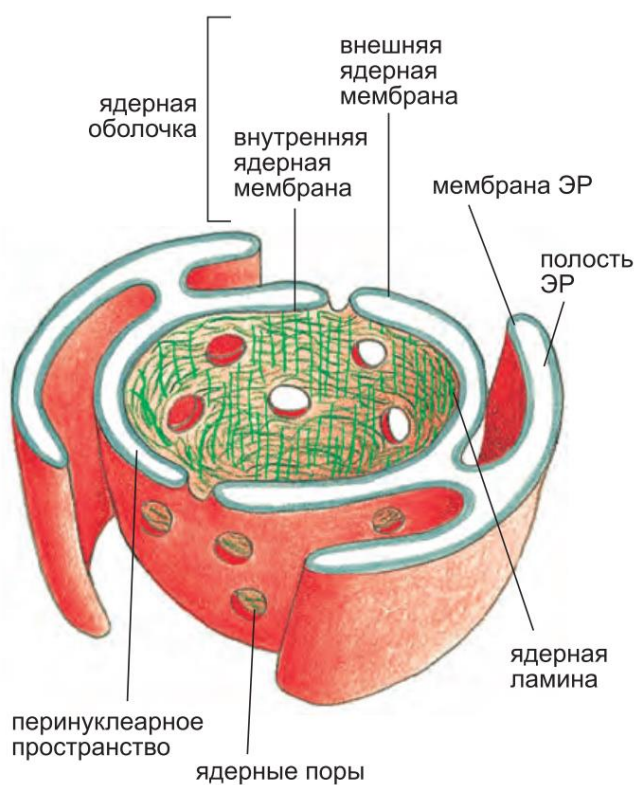


Рис. 3. Ядерная ламина (поровые комплексы не показаны)<sup>1</sup>

Эти структурные белки относятся к группе белков промежуточных филаментов – элементов цитоскелета. В жидкой цитоплазме пузырек из мембраны – ядро – должен из-за поверхностного натяжения принимать шарообразную форму. Но во многих клетках ядро имеет сложную форму (например, в клетках крови человека – нейтрофилах и эозинофилах). Сложную форму ядро может приобретать и поддерживать благодаря ламинам. Изнутри к ядерной ламине крепятся определенные участки хромосом. К ламине прикрепляются также белки ядерных пор (см. рис. 3). Однако эти белки выполняют не только структурную функцию. Мутация одного из генов ламинов вызывает у человека детскую прогерия – ускоренное старение в детском возрасте (рис. 4). Ядро у таких больных приобретает сморщенную форму. Этот пример показывает, что ламинны могут влиять на работу других генов – в частности потому, что именно к ядерной ламине крепятся изнутри хромосомы.

<sup>1</sup> *Alberts B. Molecular Biology of the Cell. Garland Science, 2008.*



Рис. 4. Мутация в гене ламина А приводит к изменению формы ядра и к редкой наследственной болезни – детской прогерии<sup>1</sup>

Обычно ядерную ламину считают частью **ядерного матрикса** – сети структурных и связанных с ними других белков, которая пронизывает все ядро. Роль ядерного матрикса недостаточно изучена. Предполагается, что он участвует в разграничении хромосомных территорий (см. ниже), а к определенным его участкам крепится ДНК, и белки матрикса участвуют в регуляции работы генов.

**Транспорт веществ между ядром и цитоплазмой обеспечивают ядерные поры.**

Ядерная оболочка пронизана **ядерными порами**. Это не просто отверстия, а встроенные в мембрану сложные белковые комплексы, состоящие из десятков разных белковых молекул (рис. 5).

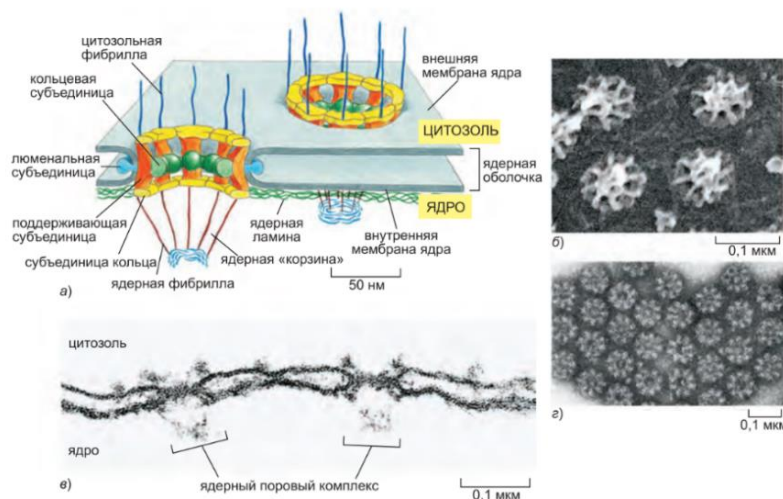


Рис. 5. Ядерный поровый белковый комплекс: *а* – реконструкция; электронные микрофотографии: *б* – вид изнутри; *в* – вид в разрезе; *г* – вид снаружи<sup>2</sup>

<sup>1</sup> <https://ru.wikipedia.org/wiki/Прогерия>

<sup>2</sup> *Alberts B. Molecular Biology of the Cell. Garland Science, 2008.*

Через ядерные поры осуществляется обмен веществами между ядром и цитоплазмой. Некоторые вещества (вода, другие неорганические молекулы и ионы, низкомолекулярные органические вещества, небольшие пептиды массой до 30–60 кДа) проходят через ядерные поры свободно, путем пассивного транспорта (диффузии). Но остальные вещества (крупные белки и молекулы РНК) транспортируются избирательно, и их транспорт требует затрат энергии.

Из цитоплазмы в ядро поступают белки, которые участвуют в репликации и репарации ДНК и в транскрипции, а также белки-гистоны (см. ниже). Из ядра в цитоплазму выходят молекулы РНК. Некоторые белки (например, входящие в состав рибосом) проделывают путь через ядерные поры дважды – сначала входят в ядро, а затем выходят из него в составе субъединиц рибосом.

Поровые белковые комплексы разбираются на части в ходе митоза и вновь собираются после его окончания. Механизм их сборки до конца не изучен. Клетки могут регулировать количество ядерных пор в зависимости от фазы клеточного цикла и других условий.

### **Ядерная оболочка распадается во время деления клетки.**

У животных во время деления клетки ядерная оболочка распадается, и содержимое ядра смешивается с цитоплазмой.

Ядерная оболочка у многих эукариот распадается во время деления ядра, а затем собирается снова. Если при митозе ядерная оболочка распадается, то говорят, что это открытый митоз. Распад ядерной оболочки позволяет нитям веретена деления присоединиться к хромосомам. Открытые митозы характерны для высших растений, многоклеточных животных и многих протистов. Но у ряда других эукариот (у многих грибов, инфузорий, эвглены зеленой и ее родственников) ядерная оболочка сохраняется и в период митоза. У этих организмов митоз закрытый. Веретено деления при закрытом митозе обычно формируется внутри ядра. Рисунки такого митоза есть во многих учебниках зоологии. Следует отметить, что в часто встречающемся в описаниях случае деления ядра обыкновенной амебы на деле происходит открытый митоз.

Распад ядерной оболочки в ходе митоза начинается с *фосфорилирования* ламинов (рис. 6).

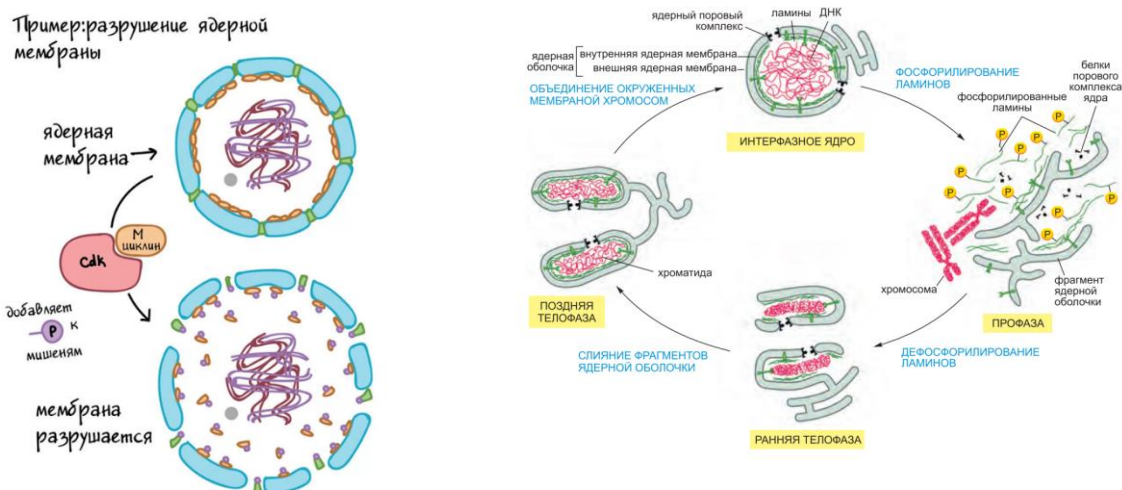


Рис. 6. Фосфорилирование ламинов запускает распад ядерной оболочки (слева). После дефосфорилирования ламинов оболочка вновь собирается вокруг отдельных хромосом, а затем сливается в ядро<sup>1</sup>

Фосфорилирование – присоединение фосфатной группы к остаткам одной или нескольких аминокислот белка – осуществляют специальные ферменты, протеинкиназы. Фосфорилирование меняет форму белковой молекулы и часто используется для регуляции свойств и работы белков. Другие ферменты – протеинфосфатазы – могут отщеплять фосфатные группы от белковых молекул. Ядерные ламины фосфорилируют протеинкиназу, которую активирует белок М-циклин, синтезирующийся в клетке к началу деления.

Фосфорилируются также белки поровых комплексов, и они распадаются на части. В итоге ядерная оболочка распадается. Раньше считалось, что образуются отдельные пузырьки из мембраны (везикулы). Теперь показано, что оболочка ядра превращается в мембранные трубочки, неотличимые от цистерн ЭПС.

К концу деления М-циклин и другие подобные белки разрушаются, происходит дефосфорилирование ламинов и белков ядерных пор. Ламины снова присоединяются к ядерной мембране, а затем ее фрагменты «облепляют» каждую хромосому (рис. 6, справа). Белки, ответственные за соединение с ламинами, остаются на поверхности хромосом все время; можно сказать, хромосомы ждут не дождутся, когда же ядерная оболочка снова отделит их от цитоплазмы. Когда оболочки отдельных хромосом сливаются, вновь формируется ядро. При этом внутрь ядра попадает лишь минимальный объем

<sup>1</sup> Alberts B. Molecular Biology of the Cell. Garland Science, 2008.

цитоплазмы; так удается избавиться от попадания в ядро ненужных там цитоплазматических белков.

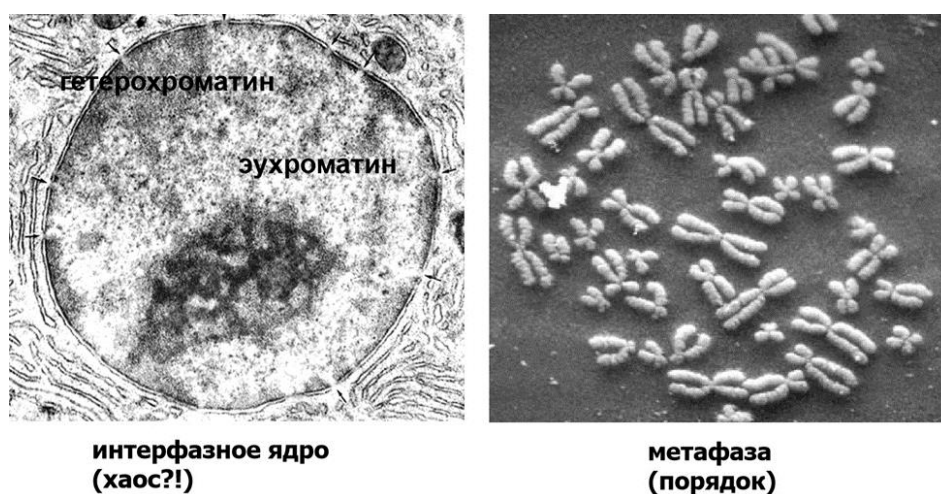
### **Ядро заполнено кариоплазмой.**

**Кариоплазма** (нуклеоплазма) – внутреннее жидкое содержимое ядра. Это густой, вязкий раствор, состоящий в основном из воды и белков. По свойствам кариоплазма похожа на цитоплазму, но отличается по составу белков, входящих в ее состав. Кариоплазма образует среду для протекания химических реакций в ядре и содержит необходимые для этих реакций вещества. Например, в ее состав, кроме белков, входят нуклеотиды – мономеры ДНК и РНК, необходимые для их синтеза. Кариоплазма содержит и более крупные молекулярные комплексы, например, состоящие из РНК и белков **сплайсосомы**, осуществляющие **сплайсинг РНК**.

### **Основной объем ядра занимает хроматин.**

Основное содержимое ядра – **хроматин**. Так называются молекулы ДНК (хромосомы) в комплексе с белками в ядре клетки, когда она не делится. Хроматин хорошо окрашивается многими, преимущественно основными красителями («хромос» – цвет).

В неделящемся ядре трудно различить отдельные хромосомы, и кажется, что они беспорядочно перепутаны (рис. 7) или вообще исчезли.



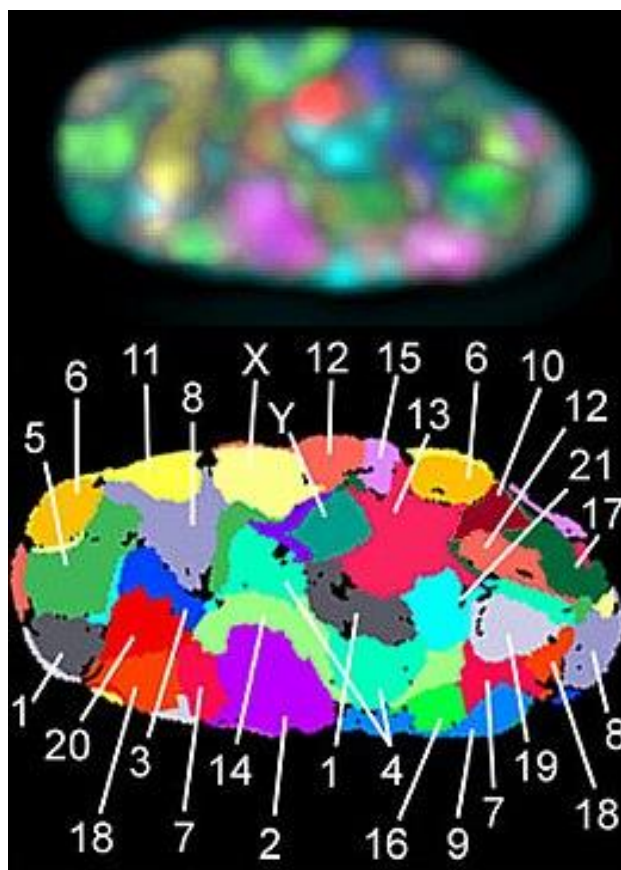
**Рис 7.** Спирализованные хромосомы делящейся клетки (справа) и хроматин в ядре между делениями<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <https://nplus1.ru/news/2016/04/04/interactome>, <https://biomolecula.ru/articles/organizovat-genom-zaputannaia-istoriia-gipotez-i-eksperimentov>



### **Каждая хромосома занимает в ядре определенную территорию.**

Представления о том, что хромосомы сохраняют целостность и индивидуальность в течение всего клеточного цикла, были доказаны разными методами еще в начале XX в. и легли в основу хромосомной теории наследственности. Гораздо позднее, к концу XX в., удалось доказать, что каждая хромосома занимает в ядре определенную территорию, и они практически не перекрываются. Современные методы позволяют окрасить хромосомы так, чтобы каждая при освещении препарата переиспускала свет с определенной длиной волны, т. е. в разные цвета. Полученные с помощью этого метода изображения ядер неделящихся клеток (рис. 8) показали, что в неделящихся клетках хромосомы занимают в ядре определенную *хромосомную территорию*, и территории разных хромосом практически не перекрываются.



*Рис. 8.* Хромосомные территории в ядре фибробласта (клетки соединительной ткани) человека. Вверху – фотоснимок, полученный с помощью конфокального микроскопа, регистрирующего переиспускаемый свет (флуоресценцию) хромосом; внизу – его компьютерная обработка с указанием территории каждой хромосомы<sup>1</sup>

<sup>1</sup> [https://ru.wikipedia.org/wiki/Хромосомные\\_территории](https://ru.wikipedia.org/wiki/Хромосомные_территории)

Если после одного деления хромосомы, например 21-я и 7-я, расположены в ядре рядом – то и после следующего деления они окажутся рядом, на своих постоянных территориях. Видимо, правильное разделение территорий важно для нормального функционирования генов.

**ДНК эукариот накручена на белки-гистоны, которые образуют нуклеосомы.**

ДНК эукариот постоянно соединена с белками, главные из которых *гистоны*. В ядре большинства эукариот содержится пять разных типов этих белков. Четыре разных гистона образуют октамеры – бусины, в которых присутствует по две молекулы каждого типа (рис. 9).

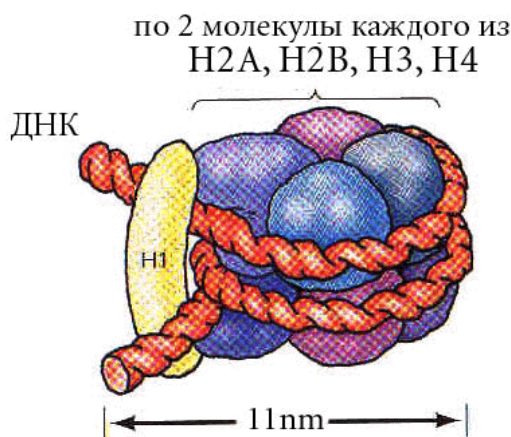


Рис. 9. Схема нуклеосомной укладки ДНК эукариот<sup>1</sup>

ДНК намотана на такие бусины, образуя вокруг каждой из них примерно полтора витка спирали. Пятый тип гистонов (H<sub>1</sub>) соединяет концы спирали ДНК на «входе» и на «выходе» с бусины, стабилизируя всю структуру. Белковая бусина вместе с намотанной на нее частью молекулы ДНК называется *нуклеосома*.

За счет *нуклеосомной укладки* нить ДНК укорачивается примерно в 7 раз. Но общая длина всех хромосом (46 молекул ДНК) в ядре клетки человека составляет около 2 м, а диаметр ядра – всего 5–10 мкм. Понятно, что ДНК должна скручиваться в какие-то более плотные структуры. Однако упорядоченность этих структур, описанная во многих учебниках, в последнее время поставлена под сомнение<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> <https://znanio.ru/media/urok-po-teme-stroenie-i-funktsii-kletochnogo-yadra-2594689>

<sup>2</sup> *Ou H. D. et al. ChromEMT: Visualizing 3D chromatin structure and compaction in interphase and mitotic cells // Science. – 2017. – Т. 357. – №. 6349. – URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aag0025>.*

Уплотненная ДНК – хроматин ядра – оказалась гораздо менее упорядоченной и более изменчивой структурой, чем думали раньше.

Главная роль гистонов, таким образом, состоит не в компактизации ДНК, а в регуляции работы генов. Гистоны могут модифицироваться с помощью ферментов. Если на каком-то участке происходит их **метилование** (присоединение метильных групп), то гены на этом участке ДНК выключаются. Если же происходит **ацетилование** гистонов (присоединение остатков уксусной кислоты), то гены начинают работать активнее, т. е. с них считывается больше РНК.

Эти метки – химические модификации гистонов – могут сохраняться при делении клеток, таким образом в многоклеточном организме появляются разные типы клеток. Нарушения в распределении меток по геному могут приводить к раку.

### **В ядре присутствуют эухроматин и гетерохроматин.**

На электронных микрофотографиях в ядре неделящейся клетки видны более темные (электронно-плотные) участки и более светлые. Более темные участки представляют собой сильно уплотненную ДНК и называются **гетерохроматин** (рис. 2, 7). Светлые участки – более рыхло расположенные нити ДНК, **эухроматин**. Гены гетерохроматиновых участков ДНК обычно не активны, с них не происходит транскрипции. Гены эухроматина могут активироваться, хотя тоже не всегда находятся в активном состоянии.

«Нормальное» положение гена – выключенное. В каждой ткани (и тем более в каждой клетке) работает обычно не более 10% генов. Важное исключение – головной мозг, где в сумме активны около 80% генов.

Иногда в гетерохроматин превращаются большие блоки ДНК. Наиболее известный пример – **тельце Барра** (рис. 10).

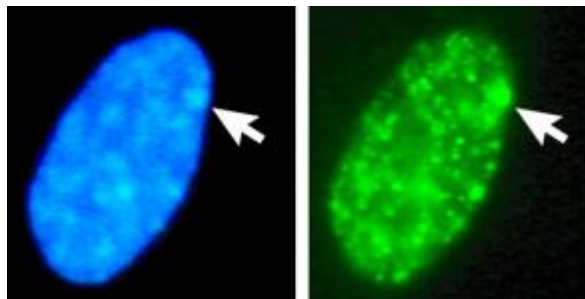


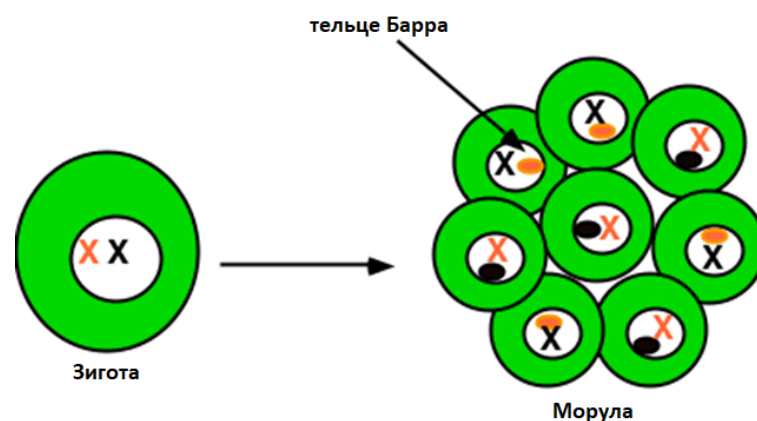
Рис. 10. Тельце Барра в ядре фибробласта женщины<sup>1</sup>

<sup>1</sup> [https://ru.wikipedia.org/wiki/Тельце\\_Барра](https://ru.wikipedia.org/wiki/Тельце_Барра)

Оно представляет собой инактивированную X-хромосому самок млекопитающих. У самцов млекопитающих набор половых хромосом XY, у самок – XX. Для того чтобы количество продуктов генов X-хромосомы было в их клетках примерно одинаковым (дозовая компенсация), одна из X-хромосом в каждой клетке у самок отключается.

Поскольку в норме тельце Барра присутствует в клетках только у женщин и его легко выявить с помощью сравнительно простого окрашивания, анализ на его наличие широко использовался для определения пола, например, у спортсменов.

У сумчатых всегда инактивируется X-хромосома, полученная от отца, а у плацентарных – случайно «выбранная» хромосома, отцовская или материнская. Это происходит на стадии, когда зародыш состоит из нескольких десятков клеток. Таким образом, если в двух X-хромосомах самки есть разные аллели одного гена, в некоторых из ее клеток будет активен только отцовский аллель, а в некоторых – только материнский. Таким образом, в генетическом отношении самки млекопитающих – это мозаики, которые имеют клетки с разным генотипом. Мозаичность проявляется только в тех случаях, когда белок, кодируемый X-сцепленными генами, функционирует внутри клеток, как в случае с черепаховой окраской кошек (рис. 11).



*Рис. 11.* Механизм возникновения черепаховой окраски кошек. В одних клетках инактивирована X-хромосома, несущая аллель рыжей окраски O, в других – X-хромосома с аллелем черной окраски (отсутствие рыжего пигмента) o. Из потомков этих клеток зародыша формируются меланоциты, заселяющие кожу и образующие рыжие и черные пятна шерсти<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <https://schoolworkhelper.net/genetic-linkage-and-recombination/>

Явление инактивации X-хромосом, которое иногда называют «лайонизация», было открыто британской ученой Мэри Фрэнсис Лайон в 1961 г.

Удивительно, что клетка «знает», сколько в ней X-хромосом. Если в результате хромосомной мутации в клетках самки оказывается по три X-хромосомы, то инактивируются две из них (при любом наборе X-хромосом одна и только одна всегда остается активной).

В выключении X-хромосом у млекопитающих главную роль играют особые молекулы РНК (Xist), закодированные в гене самой X-хромосомы. При том же наборе половых хромосом у самцов и самок дрозофилы механизм дозовой компенсации у них другой – единственная X-хромосома самца работает вдвое активнее, чем X-хромосомы самки.

Наиболее сильно спирализуются хромосомы в период деления клетки. В это время транскрипция практически полностью прекращается.

**Ядрышко – немембранная органелла, образуемая участками хромосом внутри ядра.**

Обычно внутри ядра присутствует одно, реже – несколько *ядрышек* (рис. 12).

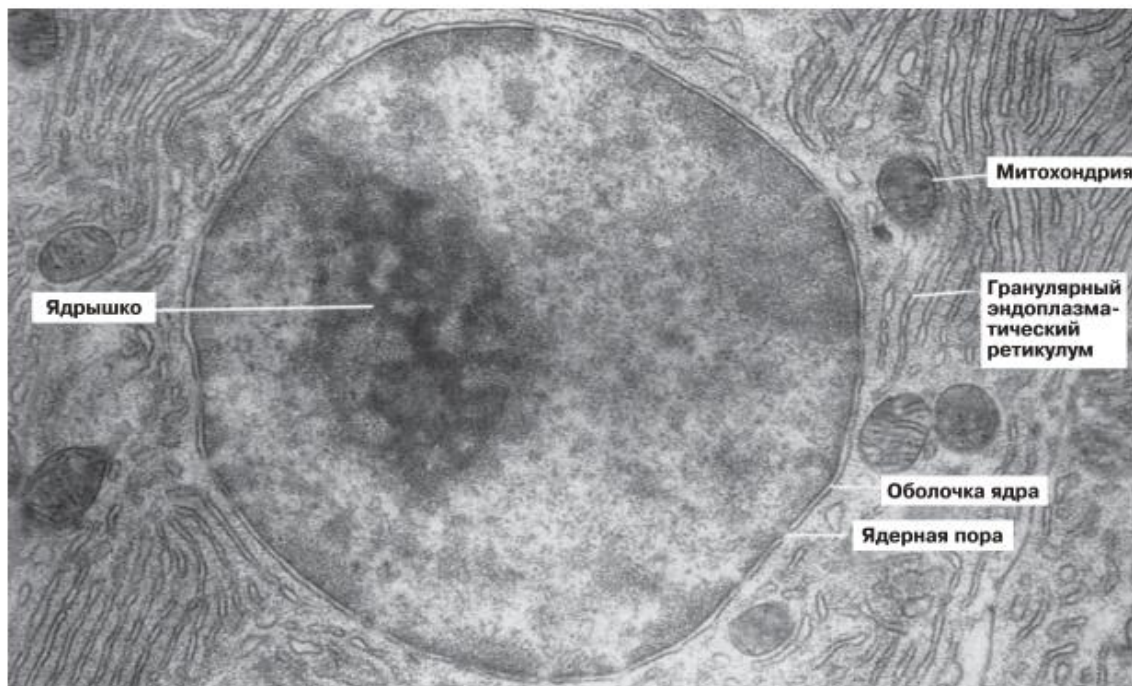


Рис. 12. Ядрышко на электронной микрофотографии<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Биология: в 3 т. / Д. Тейлор, Н. Грин, У. Стаут; под ред. Р. Сопера. – М. : Бином; Лаборатория знаний, 2013. – URL: <https://farmf.ru/lekcii/kletochnye-struktury-yadro-tsitoplazma-ribosomy/>

Ядрышко – это немембранная органелла (оно не окружено мембраной). Основу ядрышка составляют **ядрышковые организаторы** (рис. 13) – участки разных хромосом, содержащие гены, в которых закодированы рРНК, тРНК и некоторые другие типы РНК.



Рис. 13. Ядрышковые организаторы интерфазных хромосом составляют основу ядрышка

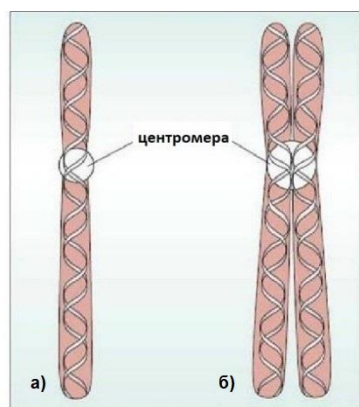
Внутри ядрышек происходит синтез этих типов РНК. Вокруг ядрышковых организаторов в неделящейся клетке, сближенных друг с другом, образуется скопление молекул РНК, молекул белков и их комплексов – **рибонуклеопротеидов**, в том числе субъединиц рибосом. Именно в ядрышках происходит их сборка.

В начале деления ядра (в профазе) хромосомы спирализуются, и ядрышковые организаторы разных хромосом отделяются друг от друга (см. рис. 13). При этом происходит и разборка всего ядрышка. Оно снова собирается из отдельных компонентов в конце деления (в телофазе).

### **Хромосомы могут состоять из одной или двух хроматид.**

Когда обычная клетка тела человека (например, клетка кожи или В-лимфоцит) поделилась, каждая хромосома в ней состоит из одной молекулы (двойной спирали) ДНК. Такая молекула ДНК в комплексе с белками называется **хроматида**. После деления клетки хромосомы в ней **однохроматидные** (рис. 14). При следующем делении такой клетки тела (соматической клетки) должны получиться две клетки с идентичным набором хромосом, таким же как в материнской клетке. Чтобы поровну поделить генетический материал между двумя дочерними клетками, да еще так, чтобы его количество осталось в каждой клетке прежним, его нужно сначала удвоить. Поэтому между двумя делениями клетки в норме всегда происходит удвоение (репликация) ДНК. При этом каждая

хроматида достраивает свою точную копию – вторую молекулу ДНК (*сестринскую хроматиду*).



До S-фазы хромосома состоит из одной хроматиды	После S-фазы хромосома состоит из двух хроматид
--	---

*Рис. 14.* а) Хромосомы до удвоения ДНК – однохроматидные; б) Хромосомы после удвоения ДНК – двуххроматидные. Обе хроматиды одной хромосомы образуются в результате удвоения ДНК и являются точными копиями друг друга (несут одинаковые аллели всех генов). Обычно каждая хроматида содержит одну двойную спираль ДНК, удвоенная хромосома состоит из сестринских хроматид, обе они содержат одинаковые аллели одних и тех же генов<sup>1</sup>

Две образовавшиеся хроматиды (их называют *сестринские хроматиды*) соединены вместе особым белком когезином и образуют одну хромосому (см. рис. 14).

В некоторых хромосомах содержится не одна или две молекулы ДНК, а множество параллельно уложенных молекул. Такие хромосомы называются политенными. Они содержатся, например, в гигантских клетках слюнных желез личинок дрозофилы и многих других двукрылых. При изучении политенных хромосом была получена важная информация о работе генов и обмене участками между хромосомами в ходе мейоза.

**Для каждого вида характерен определенный кариотип – число, размеры и форма хромосом.**

У каждого вида число, размеры и форма хромосом обычно постоянны. Например, у человека во всех клетках тела содержится *двойной (диплоидный)*

<sup>1</sup> <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/biology/what-the-genome-made-of/content-section-1.2>

**набор хромосом**, который обозначается как  $2n$ . Для человека –  $2n = 46$ . Это означает, что каждая клетка тела несет 23 пары хромосом (23, полученные от матери, и 23 – от отца), всего 46 хромосом. Две хромосомы одной пары несут одни и те же гены (но часто – разные их аллели). Хромосомы разных пар несут разные гены и отличаются друг от друга размерами и формой. Число, размеры и форма хромосом, характерные для данного вида, – это его **кариотип**.

Некоторые клетки человека содержат более двух наборов хромосом (полиплоидия). Так, клетки печени часто тетраплоидные (содержат четыре набора хромосом), а часть клеток плаценты октаплоидны (содержат восемь наборов хромосом).

Кариотип у самок и самцов часто различается. Так, у человека 22 пары хромосом одинаковы у мужчин и женщин; их называют **аутосомы**. 23-я пара, **половые хромосомы**, различаются: у женщин две одинаковые X-хромосомы, у мужчин одна X-хромосома и одна Y-хромосома, сильно уменьшенная и несущая.

У многих видов насекомых с XO-механизмом определения пола самцы имеют на одну хромосому меньше, чем самки. А бывает и так, что в пределах вида кариотип изменчив. Например, в некоторых популяциях домашней мыши *Mus musculus* в Южной Европе, кроме «нормального» набора  $2n = 40$ , особи имеют наборы хромосом  $2n = 32$ ,  $2n = 24$  и др. Возникают такие наборы из-за слияний хромосом (робертсоновских транслокаций). При этом все мыши с измененным кариотипом вполне нормальны и неотличимы внешне.

Кариотип может меняться и при патологиях. В результате хромосомных аномалий достаточно часто образуются эмбрионы с лишними хромосомами или недостающими хромосомами одной из пар (**анеуплоидия**). Подавляющее большинство таких эмбрионов гибнет до рождения. Но люди с лишней 21-й хромосомой рождаются на свет с тяжелой наследственной болезнью – синдромом Дауна. Встречаются также анеуплоидии по половым хромосомам. Женщины с одной X-хромосомой страдают от синдрома Тернера. Мужчины с лишней Y-хромосомой практически нормальны (подумайте почему), а мужчины с двумя X-хромосомами и одной Y-хромосомой страдают от тяжелого заболевания, синдрома Клайнфельтера.

Часто измененный кариотип (лишние хромосомы и хромосомы, обменявшиеся участками) имеют раковые клетки. Изучение кариотипа



раковых клеток часто проводят для определения разновидности опухоли и набора мутаций в ней. Это позволяет подобрать наиболее эффективное лечение.

### *Вопросы к теме*

1. Какие функции может выполнять ядро у эукариот (чем выгоднее хранить наследственную информацию в ядре, чем в цитоплазме)?

2. Какова длительность интерфазы у эмбрионов дрозофилы, если митоз у них длится примерно 5 минут? Найдите в тексте данные, которые дают ответ на этот вопрос.

3. Могут ли на наружной мембране ядра находиться рибосомы? Ответ обоснуйте.

4. Зачем нужна транскрипция? Почему бы не синтезировать белки прямо на ДНК?

5. Нередко пишут, что во время деления клетки ядерная оболочка растворяется. Объясните, почему такое описание некорректно.

6. Что происходит при метилировании гистонов – уплотнение ДНК или разрыхление хроматина?

7. Полностью ли инактивируются X-хромосомы самок млекопитающих? Какие данные говорят в пользу этого и против этого? Поищите ответ самостоятельно.

8. Как вы думаете, продолжается ли во время деления клетки (например, в клетках эмбрионов) трансляция? Какими способами это можно установить?

9. Может ли тельце Барра присутствовать в клетках мужчины?

10. Рецессивный ген гемофилии А находится в X-хромосоме, и гетерозиготными в норме могут быть только женщины. Наблюдается ли у них полное доминирование или неполное? От чего зависит ответ на этот вопрос?

11. Обычно сестринские хроматиды – точные копии друг друга (несут одинаковые аллели всех генов). В результате каких процессов аллели в них могут становиться разными?

12. Какие выгоды может приносить клетке или организму полиплоидия?

*Тестовые задания с множественным выбором ответа*

1. Синтез белка в клетке происходит

- 1) в ядрышке на рРНК
- 2) на хромосомах
- 3) в цитоплазме на рибосомах
- 4) в митохондриях
- 5) в пластидах
- 6) на поверхности ЭПС
- 7) внутри цистерн ЭПС

*(Ответ: 3, 4, 5, 6.)*

2. Синтез рРНК в клетке происходит

- 1) в ядре на иРНК
- 2) в ядре на ДНК
- 3) в ядрышке на ядрышковых организаторах
- 4) в пластидах
- 5) в митохондриях
- 6) в рибосомах
- 7) внутри ЭПС

*(Ответ: 2, 3, 4, 5.)*

3. Гистоны – это

- 1) белки с четвертичной структурой
- 2) белки, которые синтезируются в ядре
- 3) белки, которые образуют нуклеосомы
- 4) белки, имеющие суммарный положительный заряд
- 5) компоненты ядерного матрикса
- 6) белки, к которым могут присоединяться группы  $-\text{CH}_3$
- 7) белки, осуществляющие считывание РНК с ДНК

*(Ответ: 1, 3, 4, 6.)*

4. Выберите верные утверждения про инактивацию X-хромосомы.

- 1) Она происходит у всех животных.
- 2) Она происходит у дрозофилы.
- 3) Она происходит у мышей, кошек и людей.
- 4) У мышей всегда инактивируется отцовская хромосома.

- 5) Если у людей в клетке три X-хромосомы, инактивируется одна из них.
- 6) Инактивация X-хромосомы полная, все ее гены целиком отключены.
- 7) Инактивация X-хромосомы может приводить к мозаицизму самок.

(Ответ: 3, 6.)

#### 5. Ядрышко

- 1) содержит ДНК
- 2) содержит РНК
- 3) содержит белки
- 4) содержит целые рибосомы
- 5) часто содержит участки разных хромосом
- 6) является местом синтеза тРНК
- 7) окружено одной мембраной

(Ответ: 1, 2, 3, 5, 6.)

## Приложение 10.

### Тема урока: «Жизненный цикл клетки»

*Цель урока:* сформировать знания обучающихся о клеточном цикле и месте в нем деления клетки – митоза.

*Основное содержание темы урока.* Клеточный цикл. Митоз и интерфаза. Периоды интерфазы. Деление клетки – митоз. Стадии митоза и происходящие в них процессы. Типы митоза. Кариокинез и цитокинез. Биологическое значение митоза. Регуляция митотического цикла клетки. Программируемая клеточная гибель – апоптоз.

#### *Информация для работы*

Размножение всех живых организмов (кроме вирусов, если считать их живыми) основано на делении клеток, а деление клеток – на удвоении ДНК. Неудивительно, что деление клеток и удвоение ДНК вызывают самое пристальное внимание ученых. От правильной регуляции деления клеток зависит нормальное развитие организма, заживление ран и регенерация поврежденных органов (например, костей или печени). При нарушении деления клеток возникают различные заболевания – от анемии до раковых опухолей. Управление делением клеток позволяет выращивать клеточные культуры для получения разных веществ, испытаний лекарств и других целей. В последние годы управление делением и дифференцировкой клеток позволяет получать стволовые клетки и выращивать из них новые органы, клонировать животных, получать иммунные клетки и белки для борьбы с раком.

#### **Клетки эукариот обычно делятся путем митоза или мейоза.**

Чаще всего клетки эукариот делятся путем митоза. *Митоз* – это такое деление, при котором дочерние клетки имеют такой же набор хромосом, что и материнская, и генетически идентична ей (за вычетом случайных мутаций). Таким образом, митоз – один из вариантов естественного клонирования.

Важно подчеркнуть, что митозом могут делиться клетки с любым набором хромосом – ведь перед митозом каждая хромосома достраивает свою точную копию (путем удвоения ДНК), а потом эти копии расходятся в две дочерние клетки.

Изредка у эукариот встречаются способы деления, которые можно назвать «немитотическими». Например, в лабораторных культурах клетки иногда делятся так называемым амитозом, при котором не происходит упорядоченного распределения хромосом между дочерними клетками. Отдельные хромосомы теряются, и большинство клеток такой клеточной линии вскоре гибнут. Необычным способом делятся также большие ядра (макронуклеусы) некоторых инфузорий: в них нет целостных хромосом, а имеются отдельные гены (микрочромосомы), каждый из которых представлен несколькими тысячами копий. Такое ядро просто перешнуровывается, и его деление нельзя считать митотическим. Однако это лишь редкие исключения.

Второй способ деления клеток эукариот – *мейоз*. Он есть только у тех эукариот, которые обладают половым размножением. Мейоз, в отличие от митоза, состоит из двух клеточных делений без промежуточного удвоения ДНК, и в результате получаются клетки с вдвое меньшим числом хромосом, чем материнская. Митозом способны делиться только клетки с двойным набором хромосом (иногда – полиплоидные, но не гаплоидные).

В русскоязычной литературе принято считать половым размножением *партеногенез* – развитие организма из неоплодотворенных яйцеклеток, в том числе такие ее формы, при которых яйцеклетки развиваются путем митоза (амейотический партеногенез, свойственный, например, дафниям и тлям). Тут используется эволюционный подход – это размножение произошло от полового размножения предковых видов. Но с генетической точки зрения такой партеногенез – это клональное бесполое размножение.

### **В жизненном цикле эукариот обычно чередуются митоз и мейоз.**

Рассмотрим на примере человека, какую роль играют митоз и мейоз, а затем познакомимся подробнее с каждым из них. Характерный признак вида – определенное число хромосом. У человека в большинстве клеток тела (*соматических клетках*) их 46. Половые клетки (*гаметы*) и их непосредственные предшественники содержат вдвое меньшее число хромосом (у человека – 23).

Откуда берутся 46 хромосом в *зиготе* (оплодотворенной яйцеклетке), из которой развивается организм человека? В момент оплодотворения 23 хромосомы попадают туда из яйцеклетки, 23 – из сперматозоида. Каждая

хромосома в зиготе имеет свою пару, всего в ней имеется 23 пары хромосом. Набор хромосом, в котором каждого вида хромосом по два экземпляра, называется двойным (диплоидным). В соматических клетках почти у всех животных диплоидный набор хромосом. В гаметах каждая хромосома содержится в одном экземпляре, и такой набор хромосом называется одинарным (гаплоидным).

Каждая из 23 хромосом гаплоидного набора несет свой набор генов, и все они совершенно необходимы для нормального развития организма. В диплоидном наборе две хромосомы, полученные от отца и от матери, и несущие гены, которые отвечают за одни и те же признаки, называются парными или гомологичными. *Гомологичные хромосомы* содержат наборы одних и тех же генов, но могут содержать разные аллели этих генов, которые присутствовали в геномах родителей.

При делении зиготы митозом и образовании многоклеточного организма число хромосом в большинстве клеток тела остается постоянным, таким же, как в зиготе – диплоидным. При образовании гамет путем мейоза число хромосом уменьшается вдвое – набор становится гаплоидным.

Итак, у животных мейоз происходит при образовании половых клеток – гамет. При этом число хромосом уменьшается вдвое, а исходного (диплоидного) числа достигает после оплодотворения. У других организмов мейоз может играть иную роль. Например, у высших растений он всегда происходит при образовании спор и обеспечивает бесполое размножение, а гаметы образуются у них в результате митоза. Однако во всех случаях мейоз правильно чередуется с оплодотворением. Он имеется у тех организмов (и только у них!), у которых есть половое размножение (если не считать амеиотический партеногенез половым размножением). Митоз имеется у всех без исключения эукариот.

**Биологическое значение митоза – бесполое размножение, рост, регенерация и замена отмирающих клеток.**

Часто говорят, что биологическое значение митоза – точная передача идентичной генетической информации двум дочерним клеткам от материнской клетки. Разберем, в каких случаях этот способ деления используют разные организмы.

При размножении делением надвое, которое свойственно большинству протистов, обе образующиеся клетки имеют тот же набор хромосом, что и материнская, и во всем остальном они тоже часто становятся на нее похожими. Таким образом, митоз обеспечивает бесполое размножение одноклеточных.

У многоклеточных животных бесполое размножение с помощью митоза отдельных клеток практически не встречается (только иногда, например у гидроидных медуз или коралловых полипов, на отдельные клетки могут распадаться ранние зародыши – бластулы, и из каждой клетки развивается полноценный организм). У животных митоз обеспечивает прежде всего рост. Как уже говорилось, при развитии из зиготы во всех одноядерных клетках организма обычно сохраняется двойной набор хромосом. Значит, все деления, происходящие при развитии от зиготы до взрослого организма, – митотические. За счет митозов развиваются из зиготы и высшие растения (точнее, их диплоидное поколение спорофиты; гаплоидные гаметофиты тоже за счет митозов развиваются из споры).

Некоторые организмы (деревья, крокодилы и др.) растут всю жизнь, у других с наступлением половозрелости или чуть позже рост останавливается. Однако и в этом случае митотическое деление клеток не прекращается. Во-первых, клетки размножаются при заживлении ран или восстановлении утраченной части тела – при регенерации (отломанный хвост у ящерицы, поврежденный участок кожи или перелом кости у человека). Во-вторых, митоз служит основой вегетативного размножения. Например, так образуются почки у гидры, новые особи растений из корневищ и луковиц и т. п.

Наконец, митоз служит для замены погибающих клеток. Дело в том, что срок жизни многих клеток меньше, чем срок жизни организма. У человека только лимфоцитов примерно триллион (миллион миллионов); средний срок их жизни – около пяти суток. Расчеты показывают, что за секунду в организме человека митозом делится не менее 10 млн клеток лишь для замены гибнущих лимфоцитов.

Делятся в организме человека обычно клетки недифференцированные, т. е. не выполняющие определенных функций, – *стволовые клетки* и их потомки. Судьба двух образующихся клеток часто неодинакова (хотя набор генов у них обычно идентичен): одна из них остается недифференцированной (стволовой) и продолжает делиться, другая – «выбирает профессию» и часто перестает

делиться. У человека, например, не делятся нервные и мышечные клетки, большинство клеток крови и др. Из дифференцированных клеток продолжают в определенных условиях делиться фибробласты (клетки соединительной ткани), лимфоциты, клетки поджелудочной железы, вырабатывающие инсулин, и некоторые другие.

### **Клеточный цикл состоит из деления клетки и интерфазы.**

В этом разделе мы рассмотрим клеточный цикл (период между двумя делениями клетки) с митозом. Период между двумя митозами называется интерфазой (рис. 1). Этот период, в свою очередь, делится на три периода, или фазы:  $G_1$ , S и  $G_2$ . В течение S-периода происходит удвоение ДНК в ядре клетки, это *синтетический период*.  $G_1$  и  $G_2$  (от англ. Gap – промежуток) соответственно *пресинтетический период* и *постсинтетический период*.

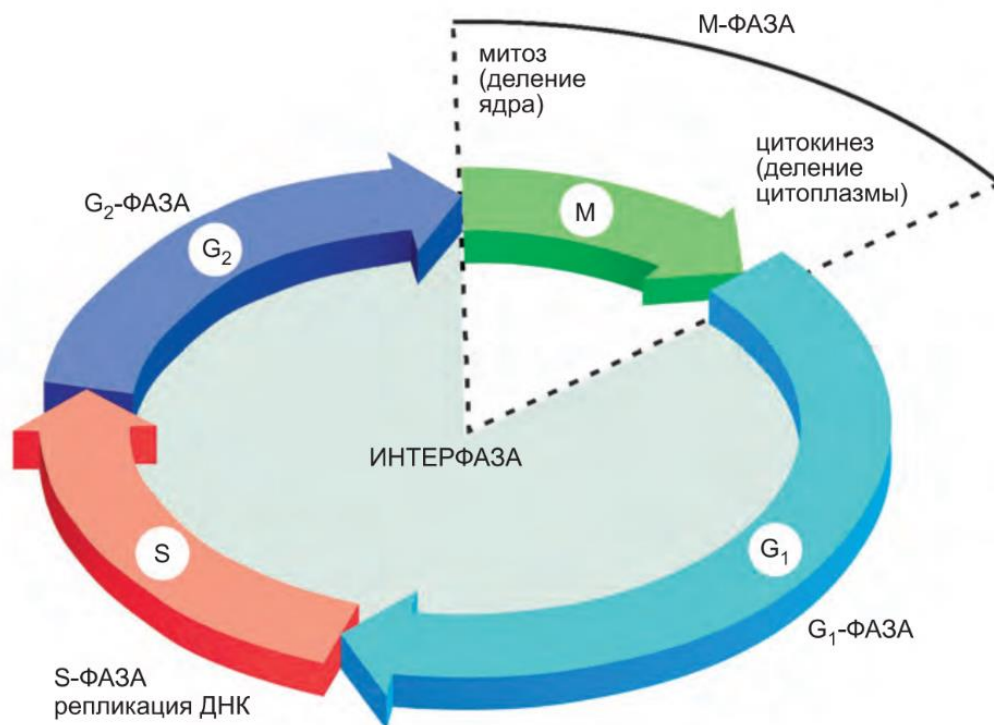


Рис. 1. Основные этапы клеточного цикла<sup>1</sup>

В интерфазе происходит не только удвоение ДНК, но и другие процессы для подготовки к делению. Например, во время S-периода удваиваются *центриоли* (каждая половинка центриоли достраивает вторую половинку),

<sup>1</sup> Alberts B. Molecular Biology of the Cell. Garland Science, 2008.



и после S-периода *клеточный центр* содержит две центриоли. Это необходимо для образования веретена деления в ходе митоза.

Кроме того, обычно клетке перед делением необходимо увеличиться в размерах и накопить необходимый запас веществ и органоидов. Например, в среднем в клетке человека содержится 5–10 млн рибосом, и все их клетка должна собрать в промежутке между делениями. Происходят и более тонкие изменения, которые мы рассмотрим далее.

### **Длительность клеточного цикла различается в разных клетках.**

Обычно в активно делящихся клетках эукариот длительность клеточного цикла составляет около суток, а длительность митоза – 1–2 часа. Но эти показатели могут широко варьировать. Например, в клетках эпителия роговицы мыши клеточный цикл длится 72 часа, а в клетках зародыша лягушки – всего 30 мин. Клетки эмбрионов могут так быстро делиться, поскольку делятся обычно без периодов промежуточного роста. У многих животных на начальных этапах развития (до конца дробления) почти не идет транскрипция. Интерфаза при этом резко сокращается, и почти всю ее занимает S-период.

Большинство клеток взрослого человека и многих других организмов не делятся. Тогда говорят, что они находятся в фазе  $G_0$ . Часто это «состояние покоя» необратимо, но некоторые клетки могут перейти из  $G_0$  в  $G_1$ , а затем пройти удвоение ДНК и в конце концов поделиться. Так, например, ведут себя клетки печени, если часть этого органа удалена или часть клеток погибла из-за вирусной инфекции.

### **Деление клетки состоит из митоза (кариокинеза) и цитокинеза.**

Почти всегда делению клетки предшествует деление ее ядра. Правда, иногда эти процессы разобщены во времени. Например, у малярийного плазмодия и других протистов сначала многократно делится ядро, а затем клетка делится сразу на много частей. Путем деления ядер без деления клетки образуются плазмодии и у других организмов, например у гигантской плазмодии слизевика физарума. Бывает такое и у животных, как уже упоминалось, у дрозифилы на начальных этапах развития ядра делятся в общей цитоплазме, и ее ранний зародыш – типичный плазмодий.

Но, как правило, у животных сразу за делением ядра следует деление клетки надвое. Процесс деления ядра называется *кариокинез*. Иногда этот термин считают синонимом митоза. Однако во многих случаях термином митоз, или М-фаза, обозначают деление ядра и следующее за ним деление клетки – *цитокинез* (см. рис. 1).

Деление ядра и деление клетки тесно взаимосвязаны. Во время митоза изменения затрагивают не только ядро, но и другие части клетки, в первую очередь ее цитоскелет. Кроме того, процессы кариокинеза и цитокинеза перекрываются во времени – в ходе последней фазы митоза, телофазы, уже начинается цитокинез, и заканчиваться он может практически одновременно с митозом.

### **Деление клеток многоклеточных животных жестко контролируется внешними и внутренними факторами.**

Если поместить клетки животного в среду, где будет оптимальная температура, содержание углекислого газа и кислорода, питательных веществ – эти клетки все равно погибнут. Для выживания, а уж тем более для роста и деления им нужны специфичные сигналы от окружающих клеток – факторы выживания, роста и деления – обычно, это белки. При помещении исходных клеток в культуру концентрация этих белков там слишком низкая, и для успешного культивирования клеток приходится добавлять в среду сыворотку крови (обычно ее получают от телят), где содержатся необходимые белки.

Но и в целом организме большинство клеток делиться не должны. Если дифференцированная клетка находится в составе нормальной ткани и ее окружают соседи – это сигнал к остановке деления (контактное торможение). Не должны делиться также клетки с поврежденной ДНК или клетки, зараженные вирусами – у них, как правило, клеточный цикл останавливается, и запускается программа самоуничтожения – *апоптоз*. Все эти меры служат для защиты от вирусных инфекций, а главное – для защиты от раковых опухолей. Бесконтрольное деление клеток – угроза развития раковой опухоли и гибели организма.

Чтобы стать раковой, клетка должна «взломать» много уровней защиты организма. Она должна приобрести способность делиться без воздействия факторов деления. Она должна утратить чувствительность к контактному

торможению. В ней должна сломаться программа апоптоза. Эти и другие особенности раковых клеток (например, клеточное бессмертие) возникают в результате мутаций разных генов, которые постепенно накапливаются в ее геноме. Поскольку возникновение определенного сочетания мутаций – редкое событие, раковые опухоли, как правило, развиваются в пожилом возрасте, когда клетки уже успели много раз поделиться и накопили мутации.

### В клеточном цикле есть контрольные пункты.

В клеточном цикле есть этапы, когда клетка «проверяет» саму себя: все ли в порядке и можно ли продолжать подготовку к делению или само деление. Их называют **контрольные пункты** или чек-пойнты (от англ. *checkpoint*). Главных контрольных пункта три (рис. 2): в  $G_1$ , перед началом S-периода; в  $G_2$ , перед началом митоза; и в ходе самого митоза, при переходе от метафазы к анафазе (см. далее описание фаз митоза).

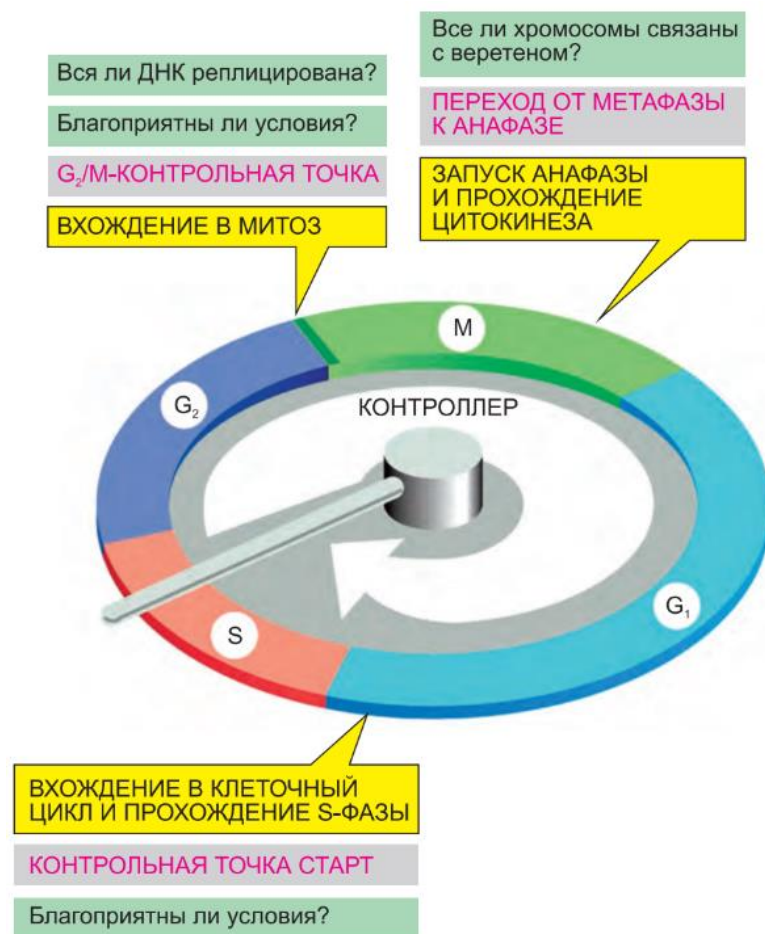


Рис. 2. Контрольные пункты клеточного цикла<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Alberts B. Molecular Biology of the Cell. Garland Science, 2008.

В  $G_1$ -фазе клетка проверяет, благоприятны ли для деления условия среды (хватает ли питательных веществ и факторов роста). Кроме того, она проверяет, достаточны ли для деления достигнутые ею размеры и нет ли в ней повреждений ДНК. Если все в порядке – можно приступать к удвоению ДНК. Если же какие-то условия неблагоприятны для деления – клеточный цикл останавливается, и клетка ждет, когда ситуация исправится. В каких-то случаях она может долго оставаться в покоящемся состоянии (в фазе  $G_0$ ). В других случаях, если, например, не удалось исправить повреждения ДНК, может включиться программа апоптоза.

Аналогично ведет себя клетка и в других контрольных пунктах: если условия для продолжения цикла отсутствуют, то он останавливается до тех пор, пока не удастся исправить положение. Если же исправить положение не удалось, включается апоптоз, и клетка погибает.

Во втором контрольном пункте (в  $G_2$ -фазе) проверяется прежде всего то, удвоилась ли вся ДНК во время S-фазы. В третьем пункте во время митоза проверяется, все ли хромосомы правильно присоединены к микротрубочкам веретена деления и находятся в метафазной пластинке, и здесь действует правило «семеро одного ждут» – даже если одна хромосома отстала от остальных, митоз останавливается.

### **Клеточный цикл контролируется белками циклинами.**

Клеточный цикл контролируется белками *циклинами*. Эти белки работают как «биохимические переключатели», которые могут быть в состояниях ВКЛ или ВЫКЛ. Они управляют всеми процессами. Переключения происходят по очереди, запуская ту или иную фазу цикла.

В каждой фазе клеточного цикла появляются свои циклины (рис. 3). Потом, в следующую фазу цикла, они разрушаются. В клетках человека есть четыре основных типа циклинов:  $G_1/S$ , S, M,  $G_1$  (на рис. 3 показаны изменения концентрации трех из них).

Циклины активируют *циклин-зависимые протеинкиназы* (Cdk), которые непосредственно управляют клеточными процессами. *Протеинкиназы* – это белки, которые могут фосфорилировать другие белки, т. е. присоединять к ним одну или несколько фосфатных групп (остатков фосфорной кислоты), источником которых служит обычно АТФ. Присоединение фосфата влияет

на форму и заряд белковой молекулы и может активировать или ингибировать белок.

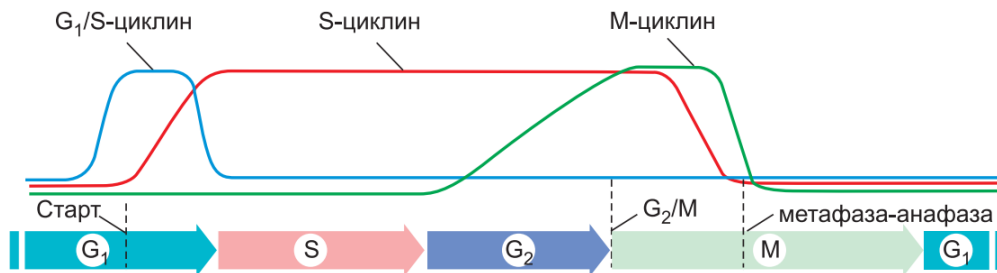


Рис. 3. Изменение концентрации белков-циклинов, которая отложена по вертикальной оси, в ходе клеточного цикла. Пунктирные линии – контрольные пункты клеточного цикла<sup>1</sup>

Чтобы активироваться, каждой Cdk нужно связаться с соответствующим циклином. Активированные Cdk фосфорилируют другие белки, которые уже приводят к переходу в следующую фазу цикла.

Например, для перехода к S-фазе в клетке должна быть активирована Cdk, связанная с G<sub>1</sub>/S-циклином. Если в клетке есть повреждения ДНК, это «чувствует» специальный белок p53. Он активирует белок-ингибитор, который выключает комплекс G<sub>1</sub>/S-циклина с Cdk; клеточный цикл останавливается.

Сложные механизмы обратных связей приводят к тому, что по завершении каждой фазы цикла соответствующие циклины разрушаются, а Cdk выключаются (инактивируются).

**Важнейшая часть клеточного цикла – хромосомный цикл, включающий удвоение ДНК и разделение хромосом на хроматиды.**

Прежде чем рассматривать все события клеточного деления, разберемся, что происходит с хромосомами в ходе оплодотворения, митоза и мейоза.

В гаметах (яйцеклетках и сперматозоидах) набор хромосом гаплоидный, и они состоят из одной хроматиды. Такой набор обозначается буквой *n*, у человека  $n = 23$ . Количество ДНК в гаплоидном наборе из однохроматидных хромосом обозначается буквой *c*. Таким образом, в каждой гамете набор  $n1c$ .

<sup>1</sup> Alberts B. Molecular Biology of the Cell. Garland Science, 2008.

Когда гаметы сливаются и образуется зигота, набор хромосом в ней становится двойным (диплоидным). Такой набор обозначается как  $2n$ , у человека  $2n = 46$  ( $23 + 23$ , по  $23$  ( $n$ ) хромосомы от каждого родителя). Количество ДНК, естественно, тоже увеличивается в 2 раза и составляет теперь  $2c$ . Зигота после оплодотворения содержит  $2n$  хромосом и  $2c$  ДНК ( $2n2c$ ).

Может ли такая клетка хоть как-то поделиться? Нет! Перед делением в клетке хромосомы должны быть двуххроматидными, а для этого должен пройти S-период. Только после удвоения ДНК зигота готова к делению. При этом число хромосом осталось прежним ( $2n = 46$ ), но каждая хромосома теперь состоит из двух хроматид; количество ДНК увеличилось в 2 раза и теперь составляет  $4c$  ( $2n4c$ ).

Когда зигота или любая соматическая клетка человека делится митозом, то в каждую дочернюю клетку попадает по одной хроматиде от каждой хромосомы. Для этого в какой-то момент (при переходе от метафазы к анафазе, см. ниже) хроматиды разделяются и становятся отдельными хромосомами. В этот момент в клетке есть по четыре копии каждой хромосомы – тетраплоидный набор  $4n$  (у человека  $4n = 92$ ). Количество ДНК при этом, естественно, не меняется, так что в анафазе набор у клетки становится  $4n4c$ . После окончания цитокинеза в каждой дочерней клетке оказывается набор  $2n2c$ , как в яйцеклетке после оплодотворения. После этого цикл повторяется.

Последовательность состояний хромосом в клеточном цикле диплоидной клетки с митозом можно описать схемой:

$$2n2c \text{ (G1-фаза)} - 2n4c \text{ (G2-фаза)} - 4n4c \text{ (анафаза митоза)} - \\ 2n2c \text{ (G1-фаза, дочерние клетки)}$$

Чем же отличается клеточный цикл с мейозом, который у животных приводит к формированию гамет с набором  $1n1c$ ? Перед мейозом клетка точно так же должна удвоить ДНК и приобрести диплоидный набор из двуххроматидных хромосом ( $2n4c$ ). Однако, затем при мейозе следуют два деления без удвоения ДНК между ними. В итоге каждая дочерняя клетка (гамета) получает набор  $1n1c$ . В первом из этих делений (редукционном) к полюсам клетки расходятся двуххроматидные хромосомы. В двух дочерних клетках уже нет парных (гомологичных) хромосом, так что они гаплоидны и имеют набор

$1n2c$ . Второе деление (эквационное) аналогично митозу – к полюсам расходятся хроматиды каждой хромосомы. В итоге число хромосом в дочерних клетках при этом делении не меняется, а количество ДНК уменьшается вдвое – так формируется набор  $1n1c$  (рис. 4).

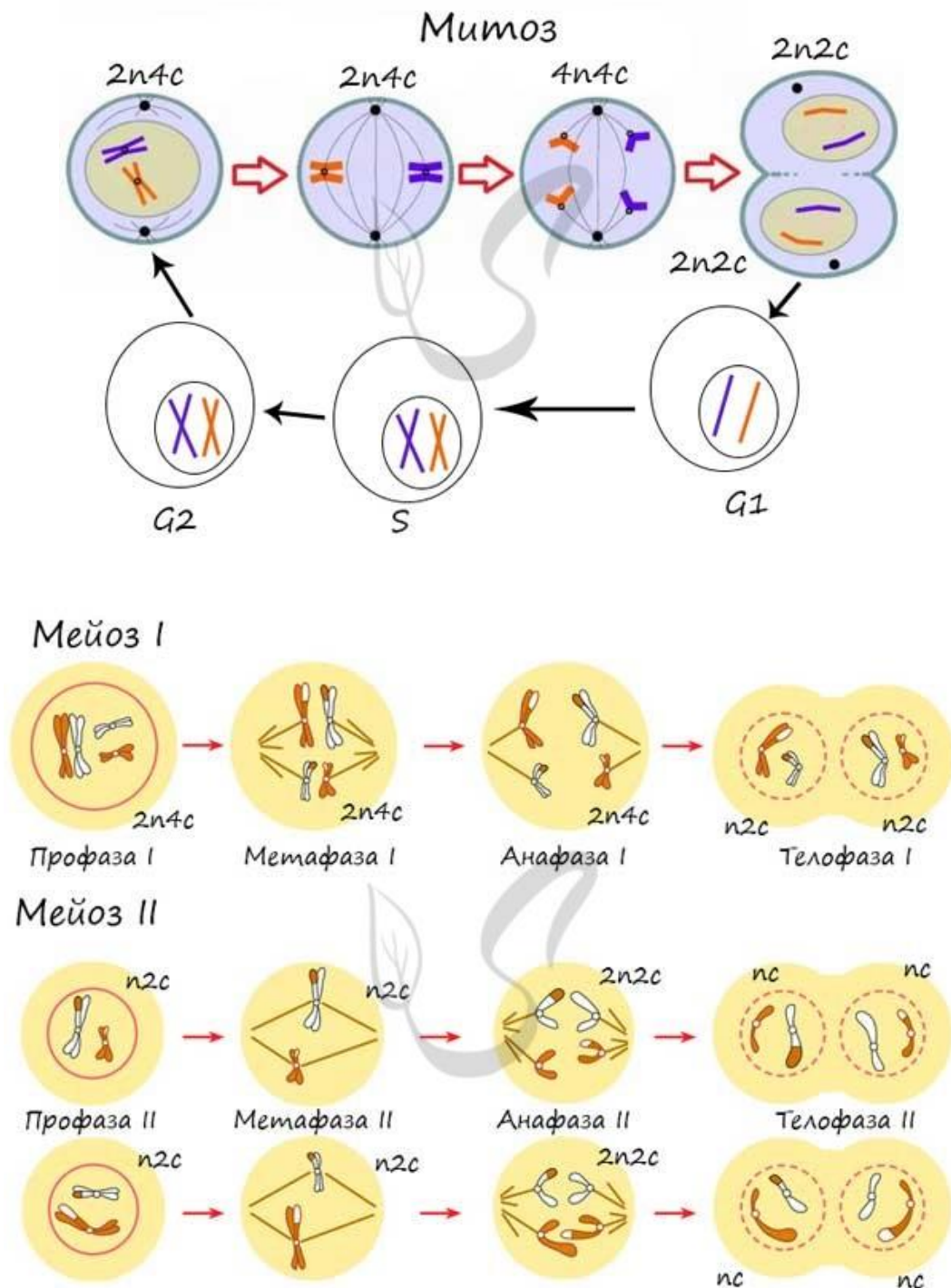


Рис. 4. Сравнение хромосомного цикла при митозе и при мейозе. Указано число хромосом ( $n$ ) и количество ДНК ( $c$ ) на клетку (на одно ядро в телофазе).

Кроссинговер происходит в профазе первого деления мейоза<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <https://multiurok.ru/files/mitoz-i-meioz-zadanie-27.html>

Дополнительное отличие мейоза – наличие *кроссинговера*, т. е. обмена участками между гомологичными хромосомами в профазе первого деления.

Иногда кроссинговер происходит и в соматических клетках при митозе, а в мейозе при образовании половых клеток (например, у самцов дрозофилы) он может практически полностью отсутствовать.

### **Митоз условно делится на фазы.**

Принято подразделять митоз на четыре фазы. Это *профаза*, *метафаза*, *анафаза* и *телофаза*. В англоязычной литературе часто выделяют еще прометафазу между профазой и метафазой, но мы будем следовать более традиционной для российского школьного курса классификации фаз. Границы между фазами на самом деле не очень четкие, и выделение их скорее условно. Тем не менее можно указать события, которые знаменуют переход от одной фазы к другой.

Переход от профазы к метафазе происходит, когда все хромосомы прикрепилась к нитям веретена деления от обоих его полюсов. Метафаза заканчивается, когда все хромосомы разделились на хроматиды. Анафаза завершается, когда хромосомы прекращают движение к полюсам и открепляются от нитей веретена. Телофаза завершается (у видов с открытым митозом) формированием новой ядерной оболочки и образованием двух ядер.

### **В профазе формируется веретено деления, к которому прикрепляются хромосомы.**

Для митоза необходима перестройка цитоскелета клетки, которая начинается еще в S-периоде. В клетке происходит удвоение центриолей, каждая из которых достраивает второй цилиндр из микротрубочек. В G<sub>2</sub>-фазе единый клеточный центр содержит две центриоли. Одна из ранних событий профазы – расхождение центриолей к полюсам клетки. Каждая из них служит ЦОМТом (центром образования микротрубочек), и на их основе из микротрубочек формируется *веретено деления*.

У некоторых организмов (в том числе при мейозе у человека, мыши и многих других животных) ЦОМТы не содержат центриолей, а иногда (например, у обыкновенной амёбы) веретено не имеет и выраженных ЦОМТов.

Подробнее работа веретена рассматривается в теме, посвященной цитоскелету. Отметим только, что в веретене деления есть три типа



микротрубочек – хромосомные, свободные перекрывающиеся и астральные (рис. 5).

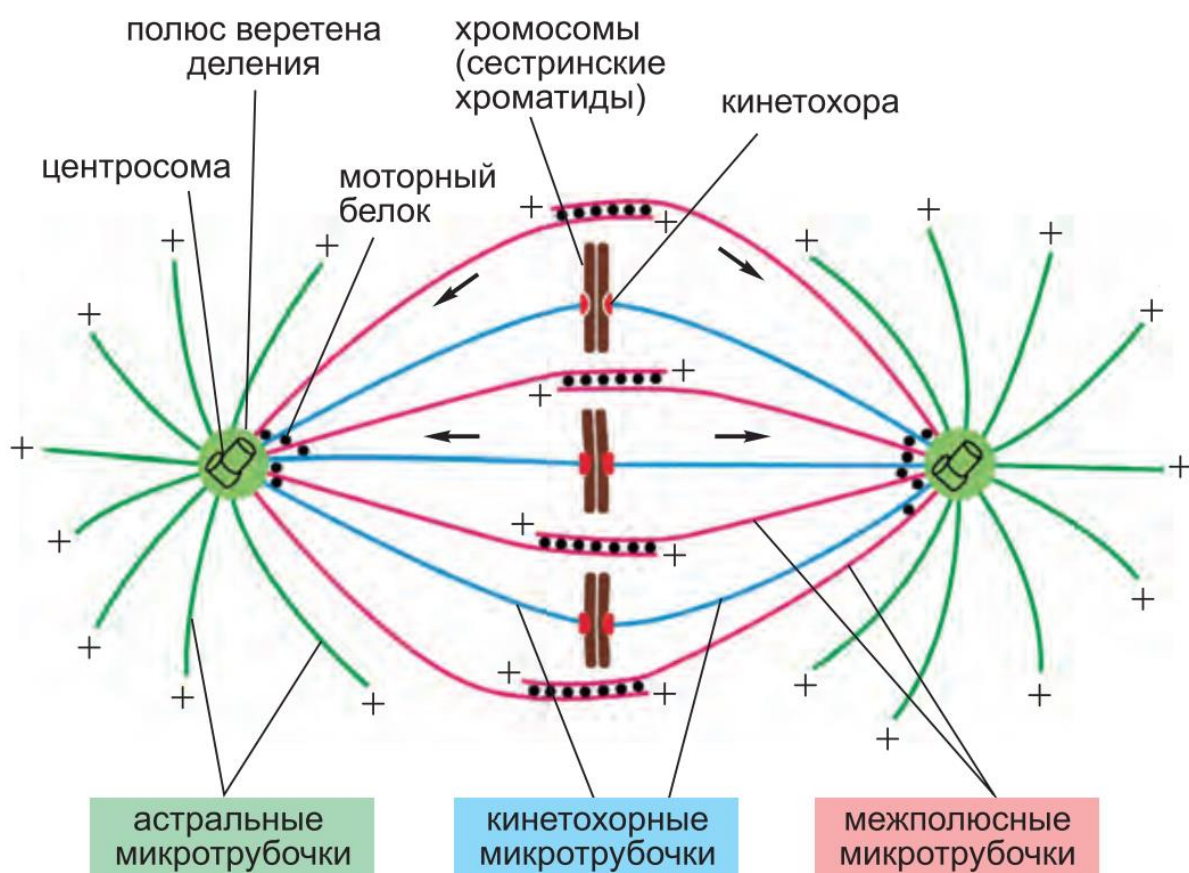


Рис. 5. Три типа микротрубочек веретена деления – астральные, хромосомные (кинетохорные) и свободные перекрывающиеся (межполюсные)<sup>1</sup>

Хромосомные микротрубочки крепятся к кинетохорам хромосом (см. ниже); после разделения хроматид они укорачиваются. Астральные микротрубочки звездообразно расходятся от ЦОМТов и могут прикрепляться к наружной мембране клетки, удерживая центриоли на месте или растаскивая их к полюсам клетки. Перекрывающиеся микротрубочки после разделения хроматид удлиняются, а затем скользят друг по другу, расталкивая центриоли. Все эти процессы происходят благодаря взаимодействию веретена с моторными белками. В результате две группы хромосом (по одной бывшей хроматиде от каждой хромосомы) оказываются у полюсов клетки, что гарантирует их попадание в два дочерних ядра, а затем в две дочерние клетки.

<sup>1</sup> Alberts B. Molecular Biology of the Cell. Garland Science, 2008.

**В профазе происходит распад ядерной оболочки и спирализация хромосом.**

В профазе митоза параллельно с формированием веретена деления у человека и других животных ядерная оболочка распадается. Этот процесс запускает М-циклин в комплексе с Cdk, фосфорилирующей ядерные белки-ламины. Этот же комплекс М-циклин-Cdk запускает спирализацию (конденсацию) хромосом, в результате чего они укорачиваются по сравнению с исходной длиной молекулы ДНК как минимум в 20 тыс. раз.

**Нити веретена прикрепляются к особым белковым комплексам – кинетохорам.**

Теперь спирализованные хромосомы находятся в цитоплазме, и к ним могут прикрепиться микротрубочки веретена деления. Плюс-концы микротрубочек прикрепляются к сложным белковым комплексам – **кинетохорам**. Кинетохор соединяется на специальном участке каждой хроматиды – **центромере**, которая состоит из гетерохроматина с определенными последовательностями ДНК (рис. 6).

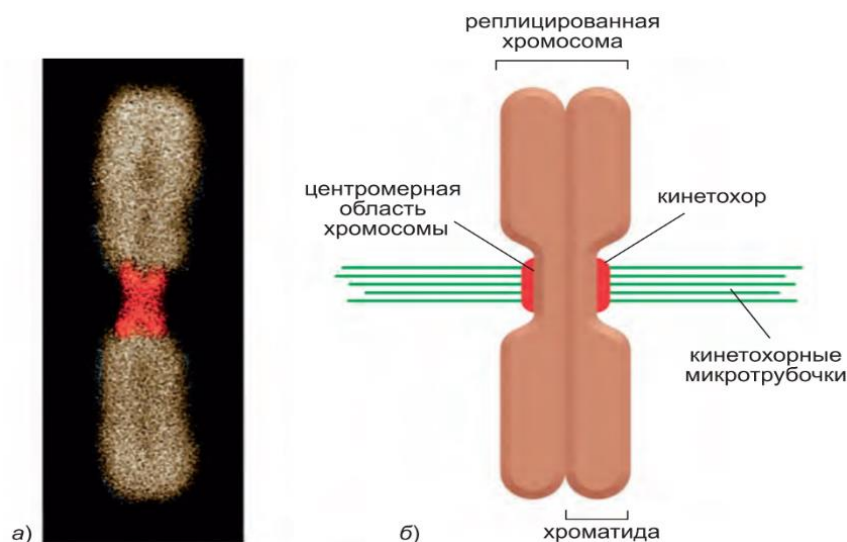


Рис. 6. а) Кинетохоры крепятся к центромерам хроматид;

б) К двум кинетохорам двуххроматидной хромосомы в метафазе крепятся микротрубочки от разных полюсов веретена деления<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Alberts B. Molecular Biology of the Cell. Garland Science, 2008.

К каждому кинетохору у человека крепится около десятка микротрубочек (на схеме митоза для простоты обычно рисуют только одну). Связь микротрубочек с кинетохорами остается непрочной, пока к кинетохорам двух хроматид не присоединятся микротрубочки от двух разных полюсов веретена. В этот момент связь становится стабильной, и профза заканчивается.

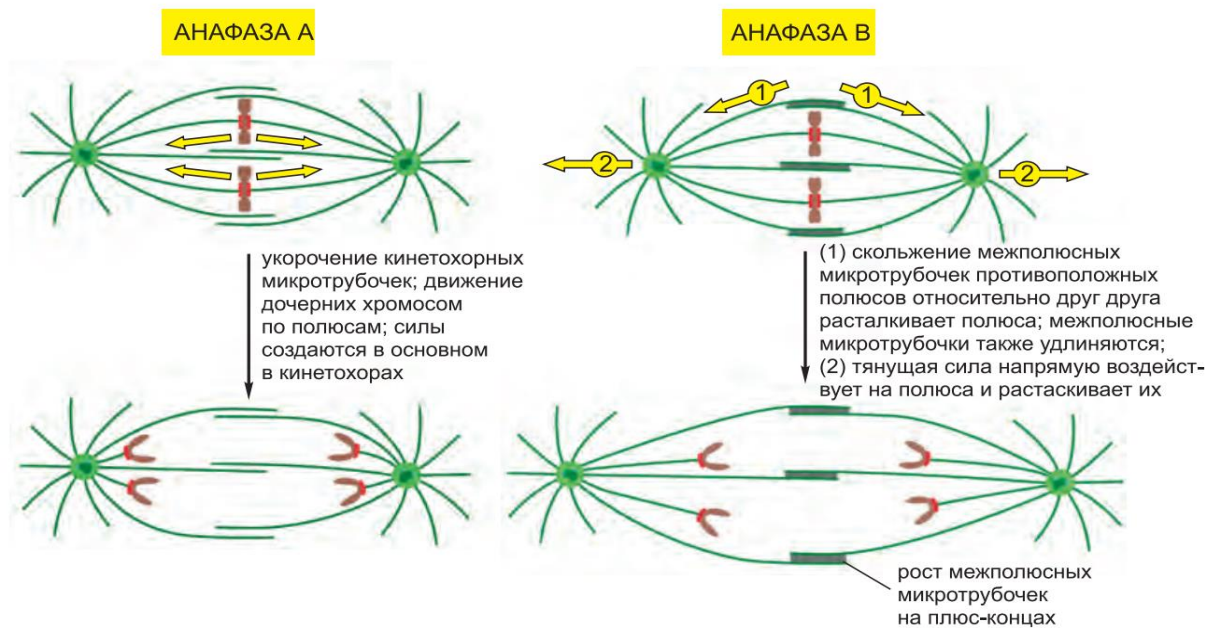
### **В метафазе хромосомы выстраиваются по экватору клетки.**

Метафаза – самая короткая фаза митоза. В ходе нее в результате взаимодействия нитей веретена, моторных белков и хромосом все хромосомы выстраиваются на экваторе клетки, на равных расстояниях от полюсов веретена, образуя *метафазную пластинку*.

В этот момент клеточный цикл может остановиться, если кинетохор хотя бы одной хроматиды не прикреплен к микротрубочкам веретена или если одна хромосома «отстала» и не достигла экватора. Только когда все хромосомы на месте, активируется фермент, разрезающий когезин и практически синхронно разделяющий каждую хромосому на две хроматиды. В этот момент метафаза заканчивается, и начинается анафаза.

### **В ходе анафазы хромосомы расходятся к полюсам клетки.**

В результате анафазы по одной бывшей хроматиде от каждой хромосомы (которые теперь сами стали отдельными хромосомами) должны попасть к противоположным полюсам клетки. Это достигается за счет двух процессов. Во-первых, укорачиваются хромосомные микротрубочки. Как ни странно, они разбираются при этом с плюс-концов, которые крепятся к кинетохорам, при этом продолжая «тянуть» хромосомы за собой. Можно сравнить кинетохор с человечком, который лезет на руках по канату, при этом откусывая и выплевывая его кусочки (димеры тубулина в случае микротрубочек). Во-вторых, свободные перекрывающиеся микротрубочки сначала удлиняются, а затем скользят друг по другу, раздвигая центриоли. В итоге, две группы хромосом, которым предстоит попасть в разные дочерние клетки, оказываются у противоположных полюсов веретена (рис. 7).



*Рис. 7.* В ходе анафазы хромосомные (кинетохорные) микротрубочки укорачиваются (слева), а свободные (межполюсные) удлиняются на свободных плюс-концах и скользят друг по другу (справа)<sup>1</sup>

### **В ходе телофазы образуются два дочерних ядра.**

В течение последней фазы митоза – телофазы – начинается разборка веретена деления. Хромосомы отделяются от микротрубочек веретена и начинают деспирализовываться. Вокруг каждой из двух групп хромосом воссоздается ядерная оболочка, и в клетке образуются два новых ядра. Параллельно начинается подготовка к цитокинезу – собирается сократительное кольцо.

### **Клетки животных делятся с помощью перетяжки – сократительного кольца.**

Сократительное кольцо, перетягивающее клетку пополам и превращающее ее в две дочерние клетки (цитокинез), состоит из белка микрофиламентов актина и моторного белка миозина (рис. 8). Актиновые филаменты, образующие кольцо, крепятся изнутри к наружной мембране. Когда миозин взаимодействует с актином, расщепляя при этом АТФ, актиновые филаменты скользят друг по другу, как в кольцевой мышце. Наружная мембрана клетки при этом втягивается внутрь, образуя перетяжку, а затем дочерние клетки полностью отделяются друг от друга.

<sup>1</sup> Alberts B. Molecular Biology of the Cell. Garland Science, 2008.



Рис. 8. Слева: в телофазе собирается сократительное кольцо (показано красным в разрезе), прикрепленное к мембране изнутри и обеспечивающее цитокинез<sup>1</sup>. Справа: кольцо собирается из молекул актина и миозина<sup>2</sup>

У растений клетка делится перегородкой. В экваториальную плоскость по микротрубочкам веретена доставляются мембранные пузырьки. Затем они сливаются, и из их мембран образуются два слитных участка мембран, разделяющих дочерние клетки. Содержимое пузырьков оказывается между новыми мембранами и превращается в материал срединной пластинки (в основном это пектиновые вещества, особая разновидность углеводов). Затем поверх новых мембран синтезируются новые участки клеточной стенки, а срединная пластинка оказывается между ними и скрепляет их.

### **Апоптоз – разновидность программируемой клеточной смерти.**

Сейчас описано уже более десяти разных механизмов клеточной смерти, и все они (включая некроз) в какой-то степени программируемые. Однако в период открытия апоптоза, в 1970-е гг., он рассматривался как противоположность некрозу, который считался неконтролируемой гибелью клеток. Поэтому **апоптоз** (первоначально это слово обозначало в греческом языке «опадание листьев») получил название программируемой клеточной смерти.

Апоптоз отличается от некроза многими характеристиками (рис. 9), в том числе тем, что при некрозе разрушается наружная мембрана клетки, и

<sup>1</sup> Alberts B. Molecular Biology of the Cell. Garland Science, 2008.

<sup>2</sup> <https://mmegias.webs.uvigo.es/02-english/5-celulas/7-actina.php>

у многоклеточного организма ее содержимое попадает в межклеточное пространство. Часто это вызывает острую воспалительную реакцию.

Такую реакцию (боль, покраснение, отек тканей) может вызвать, например, подкожное введение стерильной дистиллированной воды. Окружающие клетки погибнут путем некроза – лопнут от осмотического шока. Вот почему лекарства для инъекций растворяют в физиологическом растворе – жидкости, в которой концентрация основных внеклеточных ионов такая же, как в крови.

Апоптоз отличается от некроза, в частности, тем, что при апоптозе наружная мембрана клетки не разрушается (см. рис. 9). В клетке разрушается ДНК, в ней распадается на части ядро, а затем сама клетка распадается на окруженные мембраной апоптотические тельца, которые, как правило, фагоцитируют клетки иммунной системы (или просто соседние клетки).

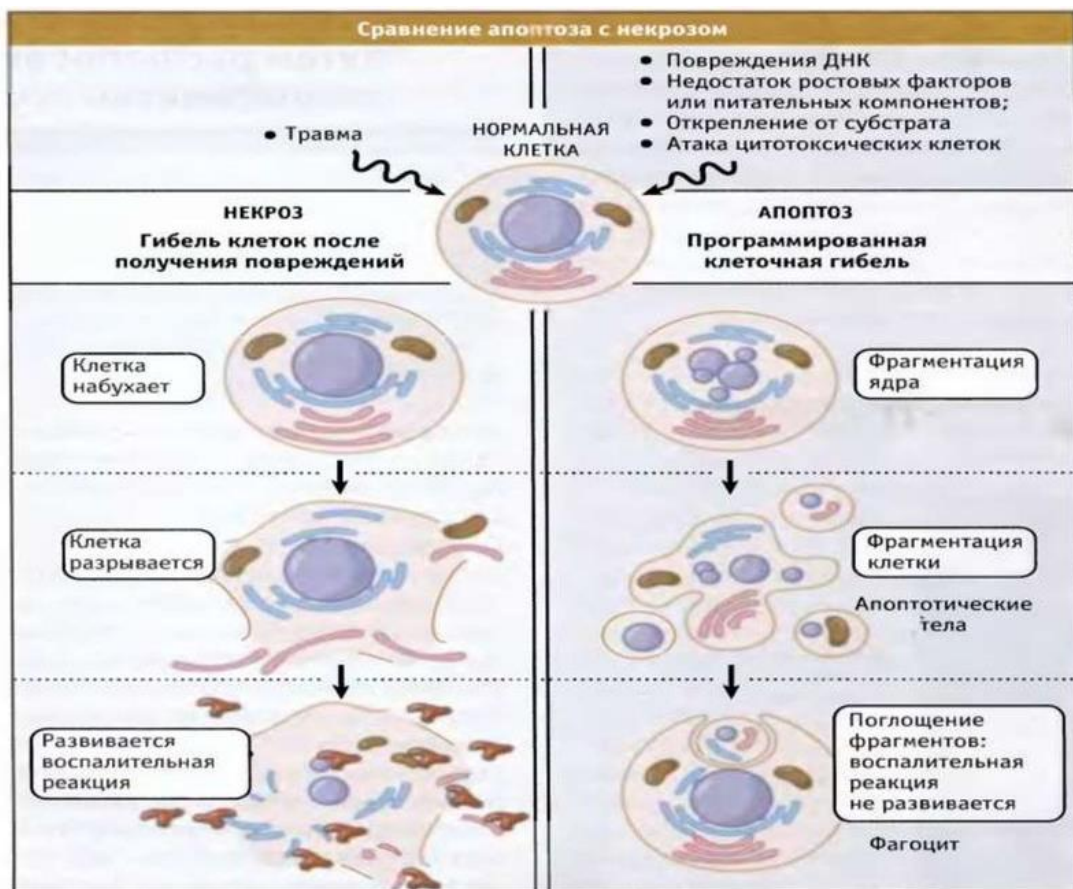


Рис. 9. Апоптоз и некроз<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <https://meduni-ver.com/Medical/genetika/apoptoz.html>

Впервые молекулярные механизмы апоптоза были изучены у модельного объекта биологии – маленькой нематоды (круглого червя) *Caenorhabditis elegans*. У этой нематоды каждый орган состоит из строго определенного числа клеток, постоянного у всех нормальных особей вида (постоянство клеточного состава). Клеток всего около 1000, и в ходе нормального развития червя около 130 строго определенных клеток погибают путем апоптоза. Удалось найти мутации, нарушающие апоптоз, и выяснить функции многих белков, которые задействованы в апоптозе. Это помогло найти похожие белки и у мыши, и у человека (и наоборот – изучение генов мыши помогло исследователям нематод). Оказалось, что базовые механизмы апоптоза у нематод и млекопитающих похожи (хотя есть и существенные отличия). С. Бреннер, Дж. Салстон и Р. Хорвиц, изучавшие с 1960-х гг. *C. elegans*, в 2002 г. получили Нобелевскую премию по физиологии и медицине «за открытия в области генетической регуляции развития органов и за достижения в исследованиях программируемой клеточной смерти».

**Апоптоз – главный способ удаления «нежелательных» клеток у многоклеточных животных.**

Апоптоз играет важную роль в развитии не только у нематод. Например, путем апоптоза гибнут клетки хвоста у головастика и редуцируются многие другие личиночные органы. У наземных позвоночных апоптоз нужен для развития пальцев – сначала между ними нет промежутков, а образуются они за счет гибели межпальцевых клеток зачатков конечностей (рис. 10).

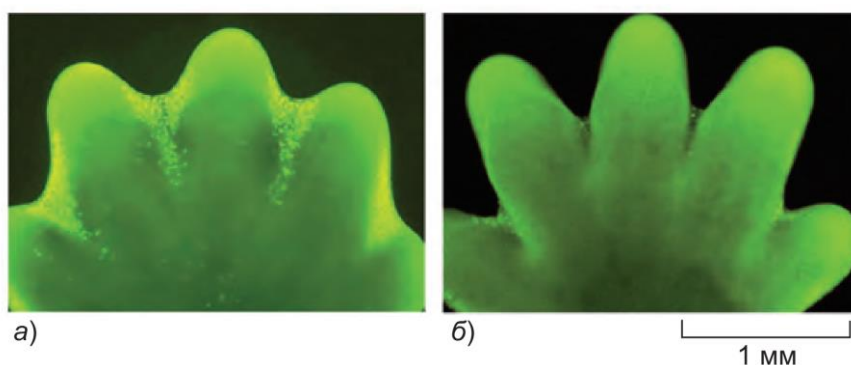


Рис. 10. Апоптоз во время нормального развития конечности мыши: а – клетки, подвергшиеся апоптозу, ярко окрашены; б – та же конечность день спустя<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wood W. et al. Development, 2000, 127: 5245–5252. Цит. по: Alberts B. Molecular Biology of the Cell. Garland Science, 2008.

При нарушении программы апоптоза пальцы оказываются сросшимися, а при ее видоизменении в ходе эволюции могут возникать перепонки между пальцами (клетки, образующие перепонку, не запускают апоптоз). Мы уже упоминали, что апоптоз служит одним из главных механизмов защиты от злокачественных опухолей и вирусных инфекций. В норме клетка, в которой возникли мутации (и которой не удалось исправить их «по горячим следам»), запускает апоптоз и «кончает жизнь самоубийством» – ведь последующие мутации, вероятность которых в такой клетке повышена, могут превратить ее в раковую. В зараженных вирусами клетках тоже в норме останавливается синтез белков и запускается апоптоз.

Клетки иммунной системы (например, Т-киллеры или цитотоксические Т-лимфоциты у млекопитающих) обычно убивают зараженные вирусами или раковые клетки, запуская в них апоптоз. А некоторые вирусы (например, вирус Эпштейна – Барра – возбудитель инфекционного мононуклеоза) способны подавлять программу апоптоза в зараженных клетках.

Апоптоз также играет важнейшую роль в развитии иммунной системы. Все клетки, которые могут вырабатывать антитела против собственных белков (В-лимфоциты) или могут убивать собственные клетки (Т-лимфоциты), в норме выявляются до созревания и устраняются путем апоптоза. Нарушения этого процесса могут приводить к аутоиммунным болезням.

### **Апоптоз у млекопитающих запускается несколькими разными способами.**

Мы уже отмечали, что клетке млекопитающих нужны внешние факторы (белки) для выживания, роста и деления. Для всех этих факторов на мембране клеток есть белки-рецепторы. Выяснилось, что у клеток есть и «рецепторы смерти» для факторов, запускающих апоптоз. Под воздействием этих факторов (часто это мембранные белки соседних клеток) гибнет часть «нежелательных» Т-лимфоцитов в тимусе. А зрелые Т-цитотоксические лимфоциты воздействуют на эти рецепторы клеток-мишеней, чтобы запустить в них апоптоз и убить, или вводят в клетку специальные ферменты, запускающие апоптоз (рис. 11).



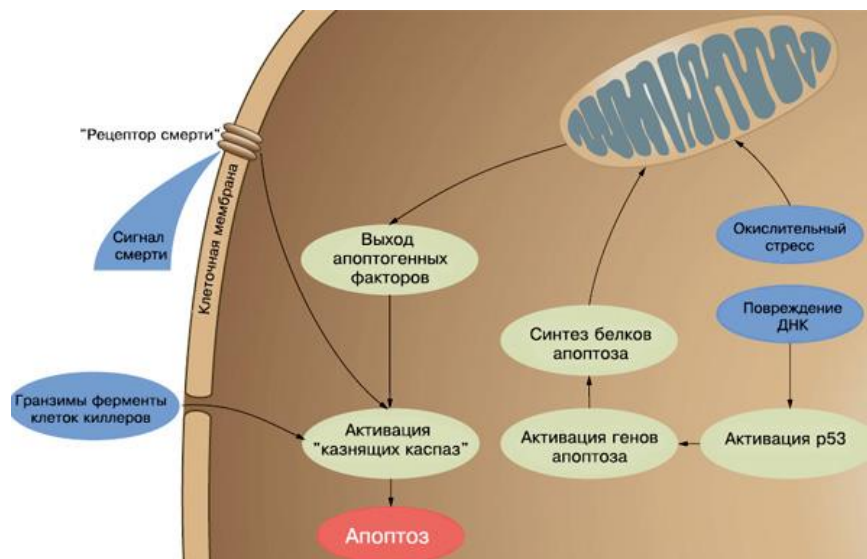


Рис. 11. Апоптоз может запускаться разными сигналами<sup>1</sup>

Но чаще апоптоз у позвоночных запускается изнутри клетки. Его инициируют митохондрии (см. рис. 11), например, при окислительном стрессе (накоплении в клетке активных форм кислорода), при нехватке факторов роста и других неблагоприятных условиях. В таких случаях повышается проницаемость наружной мембраны митохондрий, и из них в цитоплазму выходят проапоптотические (запускающие апоптоз) белки. Эти белки активируют особые ферменты – каспазы. Запускается ферментативный каскад – одни каспазы активируют другие. Те, в свою очередь, разрушают многие белки (в том числе белки ядерной ламинаы и белки цитоскелета) и активируют ферменты, расщепляющие ДНК.

В клетке есть и белки, подавляющие апоптоз, которые предотвращают его в благоприятных условиях. Продукт гена p53 подавляет активность таких антиапоптотических белков, если клетке не удастся исправить повреждения ДНК.

Изучение механизмов апоптоза позволяет разрабатывать новые способы лечения раковых, вирусных и аутоиммунных болезней.

### Вопросы к теме

1. Могут ли делиться митозом клетки с анеуплоидным набором хромосом (например, клетки человека с 47 хромосомами)?

2. Из анализа каких фактов ученые считают, что амейотический партеногенез возник на основе полового размножения предковых видов?

<sup>1</sup> [https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya\\_biblioteka/430845](https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/430845)

3. Какие клетки образуются в результате мейоза у хламидомонады, у картофеля и у ушастой медузы?

4. В какой фазе клеточного цикла с митозом обычные клетки человеческого организма становятся тетраплоидными? Есть ли такая фаза в клеточном цикле с мейозом?

5. Постройте графики зависимости от времени количества хромосом в одной клетке и содержания ДНК в одной клетке для клеточных циклов с митозом и с мейозом.

6. Ген p53 относится к важнейшим генам-супрессорам опухолей – его мутации присутствуют более чем в 60% раковых опухолей человека. Почему мутации этого гена (с потерей функции) способствуют развитию рака?

7. Зачем может быть нужен апоптоз одноклеточным организмам? Предложите как можно больше вариантов ответа.

8. Почему остановка синтеза белка в зараженных вирусом клетках – это защитная реакция?

*Тестовые задания с множественным ответом*

1. В клеточном цикле клеток человека с митозом

- 1) в профазе происходит удвоение центриолей
- 2) в анафазе в клетке тетраплоидный (четверной) набор хромосом
- 3) в профазе происходит фосфорилирование ядерных ламинов
- 4) метафаза начинается, когда все хромосомы прикрепляются к микротрубочкам от обеих полюсов веретена
- 5) к каждому кинетохору прикрепляется одна микротрубочка от каждого полюса веретена
- 6) ядерная оболочка в профазе растворяется
- 7) в дочернюю клетку попадает 23 хроматиды из хромосом отца и 23 хроматиды из хромосом матери

(Ответ: 2, 3, 4, 7.)

2. В клеточном цикле с мейозом

- 1) в итоге всегда образуются гаметы
- 2) кроссинговер происходит в норме между гомологичными хромосомами
- 3) кроссинговер происходит в метафазе первого деления мейоза

- 4) в результате первого деления образуются гаплоидные клетки
- 5) в первом делении мейоза к двум кинетохорам одной хромосомы присоединяются микротрубочки от двух разных полюсов веретена деления
- 6) в дочерние клетки попадают либо 23 отцовские хромосомы, либо 23 материнские
- 7) в первом делении мейоза к двум кинетохорам одной хромосомы присоединяются микротрубочки от двух разных полюсов веретена деления

(Ответ: 2, 4, 7.)

3. Какие события можно считать началом фаз клеточного цикла стволовой клетки человека?

- 1) начало профазы – фосфорилирование ламинов и распад ядерной оболочки
- 2) начало S-периода – усиление синтеза РНК и белков
- 3) начало метафазы – прикрепление первых микротрубочек к кинетохорам хромосом
- 4) начало анафазы – разделение всех хромосом на хроматиды
- 5) начало телофазы – отделение всех хромосом от веретена
- 6) начало цитокинеза – сборка сократительного кольца
- 7) начало G<sub>2</sub>-фазы – окончание удвоения ДНК

(Ответ: 1, 4, 5, 6, 7.)

**Приложение 11. Примерный перечень  
проектных и учебно-исследовательских работ  
для обучающихся 10 класса (углубленный уровень)**

**Тема «Биохимия. Молекулярная биология. Клеточная биология»**

1. Экстракция и разделение пигментов зеленого листа разными методами.
2. Обнаружение крахмала в листьях зеленых растений (опыт Сакса).
3. Обнаружение продукта гликолиза – пировиноградной кислоты (ПВК) у пивных дрожжей с помощью манометрического способа.
4. Выяснение значения разных участков солнечного спектра для интенсивности процесса фотосинтеза.

**Тема «Клеточный цикл. Размножение и развитие организмов»**

1. Изготовление проволочных моделей метафазных хромосом.
2. Изучение способов вегетативного размножения комнатных растений.
3. Изучение почкования пекарских дрожжей и влияющих на него факторов.
4. Исследование жизненного цикла гриба мукора, или «белой плесени».

**Тема «Генетика: закономерности наследственности и изменчивости организмов»**

1. Изучение особенностей гороха посевного как объекта генетических исследований.
2. Карточная игра как модель наследования ребенком генов матери и отца.
3. Изучение закономерностей наследования групп крови у человека: проблема определения отцовства.
4. Изучение закономерностей наследования резус-фактора (Rh) у человека: проблемы беременности.
5. Изучение закономерностей наследования рыжей, черной и черепаховой окраски шерсти у кошек.
6. Составление вариационного ряда и вариационной кривой по признаку.

### **Тема «Селекция организмов»**

1. Сравнение результатов использования массовой и индивидуальной форм искусственного отбора в селекции картофеля.
  2. Изучение видов агротехнических работ по уходу за плодовыми культурами.
  3. Изучение способов селекционной работы с ягодными культурами.
  4. Наблюдение затухания гетерозиса в потомстве гибридных сортов огурцов.
  5. Изучение способов описания экстерьера племенных животных.
  6. Глазомерная оценка телосложения пород крупного рогатого скота.
- Определение направлений продуктивности животных.




### **Тема «Биотехнология»**

1. Изучение методов определения ферментативной активности.
2. Одноклеточные водоросли хлорелла (*Chlorella*) и сценедесмус (*Scenedesmus*) как объекты микробиологической технологии получения белка.
3. Использование гриба *Penicillium roqueforti* в производстве сыра.
4. Изучение технологии квашения: получение квашеной капусты и грибов.

## Приложение 12.

### Цифровые и электронные образовательные ресурсы

Название ресурса	Адрес	QR-код
<i>Виртуальные уроки по биологии</i>		
Российская электронная школа. Биология. 10 класс	<a href="https://resh.edu.ru/subject/5/10/">https://resh.edu.ru/subject/5/10/</a>	
Российская электронная школа. Биология. 11 класс	<a href="https://resh.edu.ru/subject/5/11/">https://resh.edu.ru/subject/5/11/</a>	
Интернет-урок. Биология	<a href="https://interneturok.ru/">https://interneturok.ru/</a>	
Фоксфорд. Учебник. Биология	<a href="https://foxford.ru/wiki/biologiya">https://foxford.ru/wiki/biologiya</a>	
ЯКласс. Биология	<a href="https://www.yaklass.ru/p/biologia">https://www.yaklass.ru/p/biologia</a>	
<i>Материалы для учителя</i>		
Единое содержание общего образования. Биология	<a href="https://edsoo.ru/Predmet_Biologiya.htm">https://edsoo.ru/Predmet_Biologiya.htm</a>	
Единое окно доступа к информационным ресурсам. Биология	<a href="http://window.edu.ru/catalog/?p_rubr=2.2.74.2">http://window.edu.ru/catalog/?p_rubr=2.2.74.2</a>	

Название ресурса	Адрес	QR-код
Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов	<a href="http://school-collection.edu.ru/">http://school-collection.edu.ru/</a>	
Российский учебник. Биология. Методическая помощь	<a href="https://rosuchebnik.ru/metodicheskaja-pomosch/predmet-biologiya/">https://rosuchebnik.ru/metodicheskaja-pomosch/predmet-biologiya/</a>	
<i>Лабораторные и практические работы</i>		
Интерактивные лабораторные и практические работы по биологии	<a href="https://content.edsoo.ru/lab/">https://content.edsoo.ru/lab/</a>	
1С-Урок. Библиотека интерактивных материалов. Биология	<a href="https://urok.1c.ru/library/biology/">https://urok.1c.ru/library/biology/</a>	
Виртуальные лаборатории по биологии Московской электронной школы	<a href="https://uchebnik.mos.ru/catalogue?subject_program_ids=31937278,31937341&amp;aliases=laboratory">https://uchebnik.mos.ru/catalogue?subject_program_ids=31937278,31937341&amp;aliases=laboratory</a>	
<i>Подготовка к экзаменам</i>		
Открытый банк тестовых заданий ФИПИ. Биология	<a href="http://os.fipi.ru/tasks/6/a">http://os.fipi.ru/tasks/6/a</a>	
<i>Образовательные ресурсы по отдельным разделам</i>		
Цифровой образовательный ресурс «Биотехнология»	<a href="http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/1f5aadb-b05d-4d1d-afc8-e247f48d3eb0/118918/?">http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/1f5aadb-b05d-4d1d-afc8-e247f48d3eb0/118918/?</a>	

Название ресурса	Адрес	QR-код
Цифровой образовательный ресурс «Биохимия»	<a href="http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/947bea92-5a16-b954-69e0-8b9cceeda3e5/">http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/947bea92-5a16-b954-69e0-8b9cceeda3e5/</a>	
Цифровой образовательный ресурс «Десять ступеней биомолекулярной грамотности»	<a href="http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/6fd30000-08e5-11dc-8314-0800200c9a66/93255/?">http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/6fd30000-08e5-11dc-8314-0800200c9a66/93255/?</a>	
Цифровой образовательный ресурс «История научного эксперимента»	<a href="http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/cd285216-eb96-a7b2-0127-01c6a1db4b31/114723/?">http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/cd285216-eb96-a7b2-0127-01c6a1db4b31/114723/?</a>	
Цифровой образовательный ресурс «Эволюционная лаборатория»	<a href="http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/2f2df4fb-6240-4c42-b476-1bf13538b678/">http://school-collection.edu.ru/catalog/rubr/2f2df4fb-6240-4c42-b476-1bf13538b678/</a>	
<i>Образовательные сайты по биологии</i>		
Вся биология	<a href="https://www.sbio.info/">https://www.sbio.info/</a>	
Государственный Дарвиновский музей	<a href="http://www.darwinmuseum.ru/">http://www.darwinmuseum.ru/</a>	
Палеонтологический музей РАН	<a href="https://www.paleo.ru/museum/">https://www.paleo.ru/museum/</a>	
Биология и медицина	<a href="http://medbiol.ru/">http://medbiol.ru/</a>	



<b>Название ресурса</b>	<b>Адрес</b>	<b>QR-код</b>
Биомолекула	<a href="https://biomolecula.ru/">https://biomolecula.ru/</a>	
Антропогенез	<a href="https://antropogenez.ru/">https://antropogenez.ru/</a>	
Элементы	<a href="https://elementy.ru/">https://elementy.ru/</a>	

*Научное издание*

Л. А. Паршутина, А. В. Овчинников, О. В. Колясников, С. М. Глаголев

**БИОЛОГИЯ (УГЛУБЛЕННЫЙ УРОВЕНЬ).  
РЕАЛИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ ФГОС  
СРЕДНЕГО ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Методическое пособие для учителя

Под редакцией Л. А. Паршутинной

101000, г. Москва, ул. Жуковского, д. 16  
ФГБНУ «Институт стратегии развития образования»  
Тел. +7(495)621–33–74  
info@instrao.ru  
<https://instrao.ru>

Подготовлено к изданию 08.08.2023.

Формат 60×90 1/8.

Усл. печ. л. 9,625.

ISBN 978-5-6049296-4-3